

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

**Fakulta strojní**



**Lukáš Pavčo**

**Možnosti využití geopolymerních materiálů jako  
povlaků konstrukčních prvků**

**The possibilities of usage geopolymeric materials as  
coatings for constructional components**

**Bakalářská práce**

**2011**

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B2341 Strojírenství

Studijní obor: 3911R018 Materiály a technologie

Zaměření: Materiálové inženýrství

**Možnosti využití geopolymerních materiálů jako povlaků  
konstrukčních prvků**

**The possibilities of usage geopolymeric materials as coatings for  
constructional components**

**KTM – B – 184**

**Lukáš Pavčo**

Vedoucí práce: doc.Ing. Dora Kroisová, Ph.D.

Konzultant: Ing. Nguyen Thang Xiem

**Rozsah práce a příloh:**

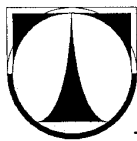
Počet stran: 67

Počet obrázků: 65

Počet tabulek: 4

Počet příloh: 1

Datum: 16.5.2011



**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
**Fakulta strojní**

Katedra materiálu

Studijní rok: 2010/2011

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

Jméno a příjmení	<b>Lukáš P A V Č O</b>
studijní program	<b>2341 B Strojírenství</b>
obor	<b>Materiály a technologie</b>
zaměření	<b>Materiálové inženýrství</b>

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

### **Možnosti využití geopolymerních materiálů jako povlaků konstrukčních prvků**

#### **Zásady pro vypracování:**

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

- 1) Seznamte se s vlastnostmi geopolymerních materiálů a možnostmi jejich využití.
- 2) Na vybraných konstrukčních materiálech vytvořte geopolymerní povlaky, které zhodnoťte z hlediska jejich adheze k podkladu, charakteru povrchu, odolnosti vůči vybraným prostředím a dynamickému namáhání.
- 3) Popište a zhodnoťte získané výsledky.
- 4) Zformulujte závěry.

## Možnosti využití geopolymerních materiálů jako povlaků konstrukčních prvků

Forma zpracování bakalářské práce:

- průvodní zpráva v rozsahu 25 - 40 stran

- přílohy

Seznam literatury (uved'te doporučenou odbornou literaturu):

- [1] DAVIDOVITS, J. 30 Years of Successes and Failures in Geopolymer Applications. Market Trends and Potential Breakthroughs. Geopolymer 2002 Conference, October 28-29, 2002, Melbourne, Australia
- [2] DAVIDOVITS, J. DAVIDOVITS, M. Composite Materials with Geopolymer Matrix. Geopolymer '88, Vol.2, pp. 325-337.
- [3] DAVIDOVITS, J. Geopolymer Chemistry and Properties. Geopolymer '88, Vol.1, pp. 25-48
- [4] DAVIDOVITS, J. Chemistry of geopolymeric systems, terminology. Géopolymère'99 Proceedings, pp. 9-40
- [5] JASZICEK, M. Hodnocení fyzikálních vlastností kompozitních systémů s geopolymerní maticí. Diplomová práce TUL, 2009.
- [6] HUNG, T. D., LOUDA, P., KROISOVÁ, D., BORTNOVSKY, O., BEZUCHA, P. Mechanical Properties of Geopolymer Composite Systems Curing at Ambient Condition. In: 16<sup>th</sup> International Conference on Structure and Structure Mechanics of Textile Fabrics, Faculty of Textile Engineering, TUL, Liberec, 3-4 December 2009.


Vedoucí bakalářské práce:


doc. Ing. Dora Kroisová, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce :

Ing. Nguyen Thang Xiem



  
prof. Ing. Petr LOUDA, CSc.  
vedoucí katedry

  
doc. Ing. Miroslav MALÝ, CSc.  
děkan

V Liberci dne 8.03.2011

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data (v uvedeném lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ). Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu učiva.

## **Anotace**

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**Fakulta strojní**

Katedra materiálů

Studijní program: B2341 – Strojírenství  
Student: Lukáš Pavčo  
Téma práce: Možnosti využití geopolymerních materiálů jako povlaků  
konstrukčních prvků.  
  
Číslo BP: KMT – B – 184  
Vedoucí BP: doc.Ing. Dora Kroisová, Ph.D.  
Konzultant: Ing. Nguyen Thang Xiem

## **ANOTACE**

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou možnosti využití geopolymerních materiálů jako povlaků pro konstrukční prvky.

Cílem práce je zjistit možnost aplikace geopolymery na podkladu, jakou dosahuje adheze k podkladu, jeho schopnost přetrvávat a chránit jej za vyšších teplot, které jsou pro podkladový materiál hraniční.

Zkoumaly se dva geopolymerní materiály a to s označením Q13 a Q17. Na podkladovém materiálu se provedly přípravné práce, na kterých bylo po aplikaci provedeny patřičné zkoušky a experimenty.

## ANNOTATION

This bachelor's thesis deals with the possibilities of usage geopolymeric materials as coatings for constructional components. The main aim of this thesis is to find out the possible way of applying the geopolymer on the base (ground) material and to study its adhesion towards the base material as well as to discover more about its capability of enduring and protecting against high temperatures which are so called borderline for the base material. 2 geopolymeric materials were tested: Q13 and Q17. The base material surface came through the preparation procedures after which the following tests and experiments were made.

### KLÍČOVÁ SLOVA

Geopolymer

Povlak

Povrch

Adheze

### KEY WORDS

Geopolymer

Coating

Surface

Adhesion

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 16. května 2011

.....

Lukáš Pavčo  
Víta Nejedlého 1299  
Mnichovo Hradiště  
295 01

### **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum

Podpis



**Poděkování:**

Srdečně děkuji doc. Ing. Doře Kroisové, Ph.D. a Ing. Xiamovi za cenné pokyny a čas, který mi věnovali během psaní této práce.

## Obsah

I. Úvod .....	- 11 -
II. TEORETICKÁ ČÁST .....	- 12 -
2.1. Geopolymer .....	- 12 -
2.2. Použité podkladové konstrukční materiály .....	- 15 -
2.2.1. Ocel .....	- 15 -
2.2.2. Dural .....	- 15 -
2.2.3. Beton .....	- 15 -
2.2.4. Polystyren .....	- 16 -
2.2.5. Polykarbonát .....	- 16 -
2.2.6. Dřevo .....	- 16 -
III. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....	- 17 -
3.1. Výroba vzorků .....	- 17 -
3.1.1. Příprava podkladového materiálu .....	- 17 -
3.1.2. Příprava geopolymerního povlaku .....	- 18 -
3.1.3. Aplikace geopolymerního povlaku .....	- 20 -
3.2. Charakteristika povrchu .....	- 20 -
3.2.1. Povrch geopolymerního Q13 .....	- 21 -
3.2.2. Povrch geopolymerního Q17 .....	- 27 -
3.2.3. Vyhodnocení charakteru povrchu .....	- 33 -
3.3. Odolnost vůči vybraným prostředím .....	- 34 -
3.3.1. Vyhodnocení tepelné odolnosti .....	- 47 -
3.4. Zkouška adheze k podkladu .....	- 47 -
3.4.1. Vyhodnocení zkoušky adheze .....	- 51 -
IV. ZÁVĚR .....	- 52 -
V. SEZNAM OBRÁZKŮ A ODKAZŮ .....	- 53 -
VI. LITERATURA .....	- 56 -
VII. PŘÍLOHY .....	- 57 -
7.1. Příloha 1 .....	- 57 -

## I. Úvod

V dnešní době souvisí proces projektování konstrukcí s výběrem vhodných materiálů pro konstrukční prvky, nástroji popřípadě dalšími součástmi. Současný výběr nutí konstruktéra volit materiál podle mnoha parametrů. Mezi nejdůležitější parametry řadíme mechanické vlastnosti jako např. pružnost a pevnost. Tyto vlastnosti nám určují další použití materiálu.

Oblast používání podmiňující i jiné vlastnosti, jako jsou např. fyzikální vlastnosti, sem zahrnujeme hustotu, tepelnou či elektrickou vodivost, ale i další mechanické vlastnosti jako odolnost proti otěru, teplotám atd. Zároveň musí konstrukce odolávat různým chemickým prostředím, a nebo pracovat v určitém teplotním rozsahu.

V současné době se pozornost obrací do oblasti životního prostředí. Výroba, používání a následná recyklace odpadu materiálů jako např. hojně využívaný cement nebo plast, jsou velkou zátěží pro životní prostředí. Nové anorganické polymery nám dávají příležitost je nahradit. Při běžné výrobě geopolymery vzniká šestkrát méně oxidu uhličitého než při výrobě cementu. Při výrobě jedné tuny cementu unikne do ovzduší stejné množství  $\text{CO}_2$ , tedy rovněž jedna tuna. K přípravě geopolymery lze využívat metakaolin nebo vedlejší produkt průmyslové výroby např. popílek, což je výrazné plus pro již zmiňované životní prostředí. [1]

Na anorganické geopolymerní materiály se během posledních desítek let zaměřuje velká pozornost, díky jejich dobrým mechanickým a tepelným vlastnostem. Čistý materiál se používá např. jako obaly ke skladování toxického odpadu. Geopolymery se jeví jako výhodné a zajímavé materiály a proto je důležité prozkoumat všechny oblasti jeho využití.

Tato práce se zaměřuje na možnosti využití geopolymerních materiálů jako povlaků konstrukčních prvků. Cílem je zjistit adhezi k podkladu u vybraných konstrukčních materiálů. Následně u těchto spojení jejich odolnost při určitých podmínkách prostředí. Výsledky přispějí k rozšíření znalostí o oblastech použitelnosti geopolymerních materiálů. [2]

## II. TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1. Geopolymer

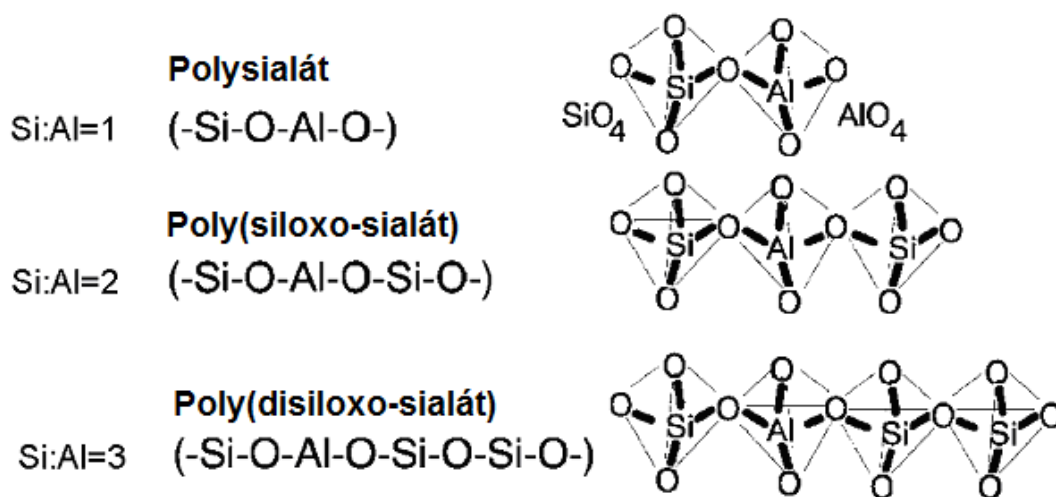
Geopolymerní materiál je možné charakterizovat jako relativně levný materiál s dobrou pevností v tlaku, nízkou hustotou a nehořlavostí.

Tvůrci geopolimerů navrhli chemický název polymeru založený na hlinitokřemičitanech jako polysialát (ang. polysialate). Sialát, část polymerního řetězce, je odvozen z oxidu hliníku a křemíku.

Síť sialátů je složena z tetraedrů  $\text{SiO}_4$  a  $\text{AlO}_4$  střídavě propojených atomem kyslíku. V této síti musejí být přítomny ionty s kladnými náboji (jako  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{H}_3\text{O}^+$ ), aby kompenzovaly náboj iontů  $\text{Al}^{3-}$  v tetraedrické koordinaci. Polysialáty mají následující vzorec:



kde „w“ je celkový počet, „M“ stanoví jednomocný kation jako draslík nebo sodík, „n“ je stupeň polymerizace. [3]



**Obr. 1.** Typy polysialátu a schéma jejich molekulárních struktury. [3]

Geopolymerní materiály se obecně vyrábějí alkalickou aktivací vhodného materiálu již využívaného v betonářském průmyslu, jako jsou např. metakaolin a

portlandský cement (PC) a nebo odpadní materiály (elektrárenský popílek a různé strusky). Nejčastěji se využívají a zkoumají jejich různě připravené směsi spolu s plnivý (kamenivem a výztuží) ve snaze nalézt kombinaci s co nejlepšími vlastnostmi. Na světě existují ložiska materiálu pro výrobu geopolymérů, který se už nemusí aktivovat (tedy tepelně zpracovat při teplotě 600 – 700 °C). Znamená to, že pak při výrobě nevznikají žádné emise. V tuto chvíli jsou známa dvě ložiska. První je v Austrálii, druhé v České republice.[4]

Geopolymery jsou připravovány polykondenzací, stejně jako organické polymery, při teplotách nižších než 150 °C. Tyto nové materiály se mohou používat jako pojivo nebo matrice kompozitů a nachází tak velké využití v různých oblastech průmyslu. Například čistý materiál se používá k zapouzdření jedovatých chemikálií a radioaktivního materiálu. [4]

Geopolymery nabízejí široké a různorodé uplatnění, mohou sloužit jako vynikající tepelná izolace a stavební materiál. První aplikace ve stavebnictví proběhly v letech 1972 – 1976, kdy byl geopolymér nanášen na dřevotřískové desky, aby zvýšil jejich ohnivzdornost. Geopolymerní cement Pyrament™ byl použit například na opravu letištní plochy v Los Angeles. V brzké době lze očekávat využití geopolymérů při stavbě silnic, mostů, budov a jiných původně betonových staveb. Uplatňují se jako matrice kompozitů k výrobě forem a nástrojů ve zpracovatelském průmyslu hliníku, v hutnictví, atd. [2]

Profesor Joseph Davidovits, přednesl v roce 1974 na egyptologickém kongresu v Lyonu hypotézu o materiálu, ze kterého jsou postaveny pyramidy. Tehdy bylo vyřčeno slovo „geopolymér“ – umělý kámen. Podle této hypotézy geopolymér nejspíše používali stavitelé pyramid již před více než 4500 lety. V současnosti není zatím tato myšlenka zcela prokázána a potvrzena, ale i u jiných starověkých staveb (v Mezopotámii či Římě) byly materiály s geopolymerními vlastnostmi nalezeny.

**Tabulka. 1.** Základní vlastnosti geopolymerních materiálů v porovnání s materiály běžně používanými [9,11,12]

	<b>Geopolymer</b>	<b>Beton</b>	<b>Ocel</b>
Mez pevnosti v ohybu [MPa]	130	10	140
Modul pružnosti v tlaku [GPa]	14	16 - 39	210
Hustota [kg/m <sup>3</sup> ]	1500	2000 - 2400	7850
Tepelná odolnost [°C]	1000	300	600 - 800

Chemická geopolymerní struktura je velmi variabilní v závislosti na poměru hlavních prvků, původu surovin a podmínek syntézy. Výzkum této oblasti je zatím na začátku.

Anorganické polymery mohou být syntetizované z různých hlinitokřemičitanů, jako je přirozeně se vyskytující metakaolin či průmyslové odpady jako např. popílek. Každá ze surovin má charakteristické chemické složení s velikostí částic. [5]

Geopolymery byly vyvíjeny tak, aby bylo dosaženo nejlepších mechanických a zároveň tepelných vlastností. Bylo nutné provést nejdříve základní experimenty, které by určily další postup.

Námi provedená měření byla pouze orientační a sloužila k vymezení dalších možností měření. Ukázala zhruba schopnost vytvářet povlaky na konstrukčních materiálech, které jsou popsány níže a jejich ochranu a zlepšení vlastností. Z těchto výsledků jsme vyvodily, jakou metodou dále pokračovat.

## **2.2. Použité podkladové konstrukční materiály**

### **2.2.1. Ocel**

Ocel je nejčastější používaný kovový materiál. Je to slitina železa, uhlíku a dalších legujících prvků, která obsahuje méně než 2,14 % uhlíku. Ocel lze dobře tvářet a tepelně zpracovávat. Má obrovský rozsah použití ve stavebnictví a strojírenství. Tento materiál je využíván téměř v každé oblasti lidské činnosti.

- Hustota oceli  $7850 \text{ kg/m}^3$
- Teplota tání je  $1539 \text{ }^\circ\text{C}$
- Pevnost v tahu je  $400 - 750 \text{ MPa}$
- Ocel má malou odolnost proti korozi [6]

### **2.2.2. Dural**

Označení dural je používáno pro různé slitiny obvykle s 90 – 96% hliníku a 4 – 6% mědi s menšími přísadami hořčíku, manganu a jiné. Dural se velmi snadno obrábí, spojuje se svařováním v ochranné atmosféře, pájením, nýtováním nebo lepením. Využití je zejména v automobilovém průmyslu, při stavbě lodí, letadel a ve stavebnictví.

- Hustota duralu je  $2800 \text{ kg/m}^3$
- Je chemicky odolný
- Pevnost v tahu se pohybuje v rozmezí  $140 - 420 \text{ MPa}$
- Teplota tání je kolem  $660 \text{ }^\circ\text{C}$  [7]

### **2.2.3. Beton**

Beton je kompozitní materiál skládající z pojiva - cement a plniva - písek. Po zatuhnutí pojiva vznikne pevný umělý slepenec. Prostý beton je odolný vůči namáhání tlakem, naproti tomu snese pouze malé tahové zatížení. Beton má širokou oblast využití např. konstrukční prvky, dlažby a další.

- Hustota se pohybuje od  $2000$  do  $2400 \text{ kg/m}^3$
- Beton podléhá korozi ale záleží na druhu a množství cementu
- Odolává do teplot  $800 \text{ }^\circ\text{C}$  pak dochází k porušení struktury
- Pevnost v tlaku až  $100 \text{ MPa}$
- Pevnost v tahu je  $10 - 15 \%$  pevnosti v tlaku [8]

## 2.2.4. Polystyren

Polystyren se používá zejména jako pěnový tepelně izolační polymerní materiál. Je jedním z nejrozšířenějších tepelně zpracovatelných plastů, tzv. termoplastů. Standardní polystyren je poměrně tvrdý, ale křehký plast, který odolává kyselinám a zásadám. Neodolává organickým rozpouštědlům, zejména benzínu, aldehydům a ketonům. Je málo odolný vůči teplotě. Uvolňuje se z něho nezreagovaný monomer styren, který je toxický a karcinogenní.

- Teplota tání 240 °C
- Hustota 1050 kg/m<sup>3</sup>
- Pevnost v tahu 46 – 60 MPa
- Tepelná vodivost 0,08 W/(m\*K) [5]

## 2.2.5. Polykarbonát

Polykarbonáty patří mezi termoplasty. Snadno se zpracovávají např. vstřikováním nebo lisováním za tepla. Polykarbonát se používá např. jako materiál pro výrobu domácího i laboratorního nádobí. Je také základním materiálem pro výrobu kompaktních disků.

- Hustota se pohybuje v rozmezí 1200 – 1220 kg/m<sup>3</sup>
- Pevnost v tahu je 55 – 75 MPa
- Teplota tání ( $T_m$ ) 267 °C
- Teplota skelného přechodu ( $T_g$ ) 150 °C [9]

## 2.2.6. Dřevo

Dřevo je organický materiál rostlinného původu s anizotropními vlastnostmi. Lidstvo tento materiál využívá už po tisíce let. V různých směrech má různé vlastnosti, protože má vláknitý charakter. Ve skutečnosti se jedná o 1 až 8 mm dlouhé buňky. Tato vlákna jsou přibližně rovnoběžně rostlá. Hodně fyzikálních vlastností dřeva (navlhavost, mechanické vlastnosti, elektrická a tepelná vodivost, akustické vlastnosti ...) se v závislosti na směru k vláknům liší, proto je třeba hodnoty těchto vlastností vždy doplnit údajem o vztahu ke směru vláken



- Hustota běžně používaného smrkového dřeva  $800 \text{ kg/m}^3$
- Dřevo je vůči chemikáliím poměrně odolné. Proti slabším roztokům kyselin a solí je dokonce odolnější než litina nebo ocel.
- Bod zápalnosti je mezi  $330$  až  $470 \text{ }^\circ\text{C}$
- Bod vzplanutí je mezi  $180$  až  $275 \text{ }^\circ\text{C}$
- Pevnost v tahu max.  $120 \text{ MPa}$  podél vláken
- Pevnost v tlaku  $40 - 76 \text{ MPa}$  podél vláken
- Pevnost v ohybu max.  $90 \text{ MPa}$  podél vláken [1]

### III. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Cílem bakalářské práce bylo zjistit užití geopolymerních materiálů jako ochranných povlaků na konstrukční materiály. Dále jejich schopnost přilnout k podkladu a jejich chování za vyšších teplot.

#### 3.1. Výroba vzorků

Byly vytvářeny povlaky na podkladových materiálech. Tloušťka geopolymerních povlaku se podle podkladu pohybovala od  $0,25 \text{ mm}$  do  $0,5 \text{ mm}$ .

##### 3.1.1. Příprava podkladového materiálu

Materiály ocel a dural byly ve formě plechu u oceli a ve formě destiček u duralu. Ocelové plechy byly rozřezány na požadované rozměry pomocí úhlové brusky. Tyto vzorky se dále upravovali pro konečnou aplikaci geopolymerního, jednalo se o očištění povrchu pomocí lihu a další sada vzorků se očistila od rzi pomocí smrkového papíru o zrnitosti  $300$  a následně se odmastila lihem. Destičky z duralu byly zdrsňeny a odmaštěny lihem.

Polystyren z desky o rozměrech  $1000 \times 800$  se dále nařezal na požadované rozměry vzorků. Dodatečná povrchová úprava nebyla provedena.

Dřevo bylo použito ve formě prkna. Prkno se pouze rozřezalo na požadovanou délku a dále se povrchově neupravovalo.

Jako vzorků betonu bylo využito dlažebních kostek, které už mají požadované rozměry a není je potřeba dále upravovat.

Polykarbonát byl dodán z katedry strojírenské technologie, kdy byl odstříknut na rozměry, povrch se dodatečně zdrsnil smirkovým papírem o zrnitosti 300.

### 3.1.2. Příprava geopolymery

#### Geopolymer Q17

Tento geopolymer se míchá přímo v laboratoři. Geopolymer se míchá ze surovin v poměru viz. tabulka. 2. Do odměřeného předepsaného množství aktivátoru se postupně přisypávala Termosilika. Tyto dvě složky se důkladně promíchávaly na strojní vrtačce po dobu 30 minut. Poté se do připravené směsi přisypávala Termosilika M4 a dále pokračovalo strojní míchání po dobu 5 minut.

Po promíchání se geopolymer nechal po dobu 24 hodin v ledničce, aby se směs řádně homogenizovala.

**Tabulka. 2.** Poměr surovin geopolymery Q17

Alkalický aktivátor Q17	43%
Termosilika M4	50%
Termosilika	7%

1.



2.



3.



**Obr. 2.** Kroky v přípravě geopolymerní směsi: (1) odvážení poměru složek, (2) a (3) míchání směsi.

### Geopolymer Q13

Geopolymer Q13 označovaný jako FC - 1 se dodává už namíchaný od výrobce, kterým jsou České lupkové závody a.s.



**Obr. 3.** Připravený geopolymer Q13

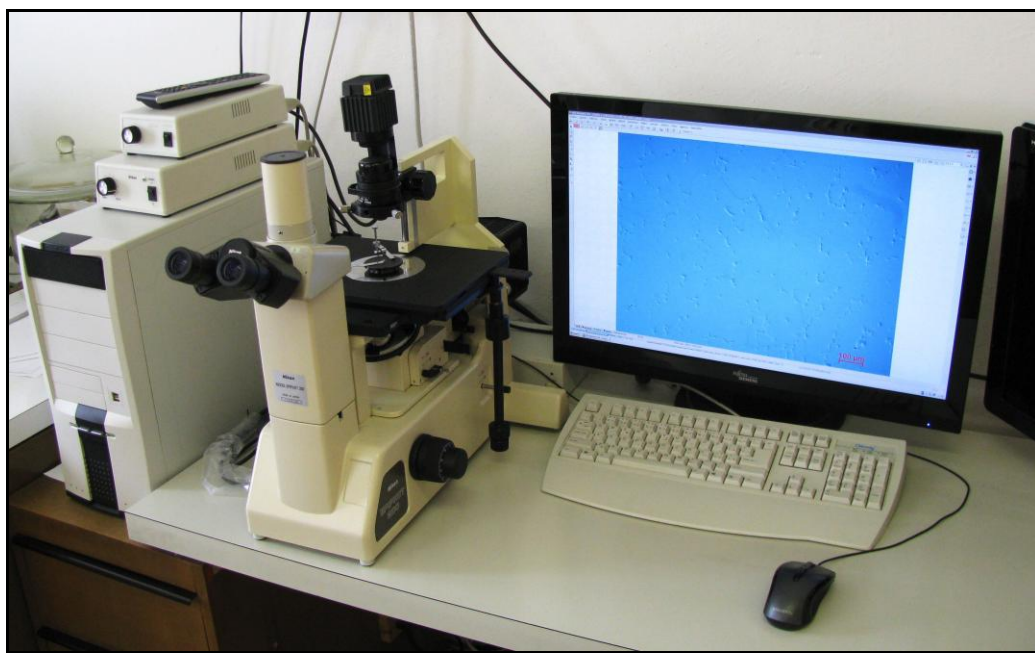
### 3.1.3. Aplikace geopolymerního povlaku

Po odležení geopolymery se aplikovala vrstva na podkladový materiál pomocí malířského válečku. Díky vyšší konzistenci geopolymery se aplikace válečkem nedařila. Proto se zkoušelo nanášet povlak pomocí štětce. Tento postup umožňuje lepší aplikaci povlaku na podkladový materiál. Pro aplikaci geopolymery je nutné hmotu po vytažení z ledničky řádně promíchat a nechat jí ohřát, aby se snížila viskozita a tím se umožnilo nanášení.

Geopolymer Q13 vykazuje vyšší viskozitu než Q17 a zároveň i vyšší přilnavost k podkladu. Příprava povlaků na všechny vzorky se prováděla v laboratoři geopolymery a keramiky, za laboratorní teploty ( $22^{\circ}\pm 2^{\circ}$ )C a relativní vlhkosti (55 – 65)%

### 3.2. Charakteristika povrchu

Povrch geopolymerních povlaků jsme pozorovali pomocí metalografického mikroskopu viz obr. 4, který se nalézá na katedře materiálů. Pozorovali jsme schopnost geopolymery vytvořit kvalitní povlak na podkladovém materiálu. Pro usnadnění práce se odstranily šroubky a přitlačnými plíšky, které mají funkci držáků vzorků. Následně se umísťovali jednotlivé vzorky do pozorovacího prostoru mikroskopu. Všechny vzorky byly očištěny, neboť se na nich po dobu zdotvrzování geopolymery usadil prach a ten zkresloval pozorování na mikroskopu



**Obr. 4.** Metalografický mikroskop

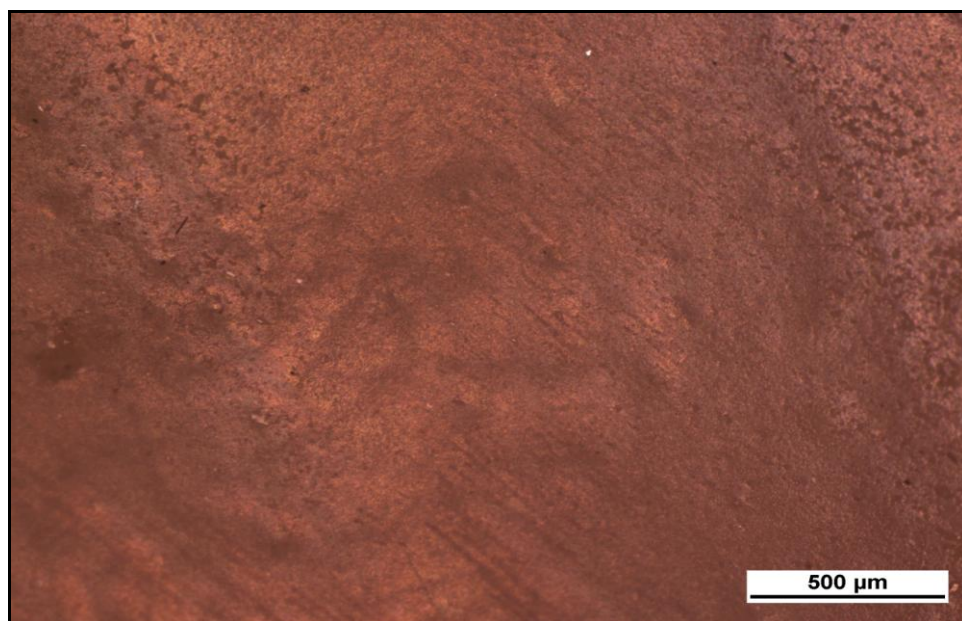
Snímky vzorků zajišťuje kamera značky NIKON o rozlišení 4M px. Tato kamera se ovládá pomocí počítače, na kterém je nainstalován obslužný software

### 3.2.1. Povrch geopolymery Q13

První zkoumaný vzorek je beton obalený geopolymery Q13. Vzorek se nijak neupravoval. Ze snímku je patrné, že povlak je bez prasklin a jiných vad.



**Obr. 5.** Beton s geopolymery Q13 – přehledný snímek



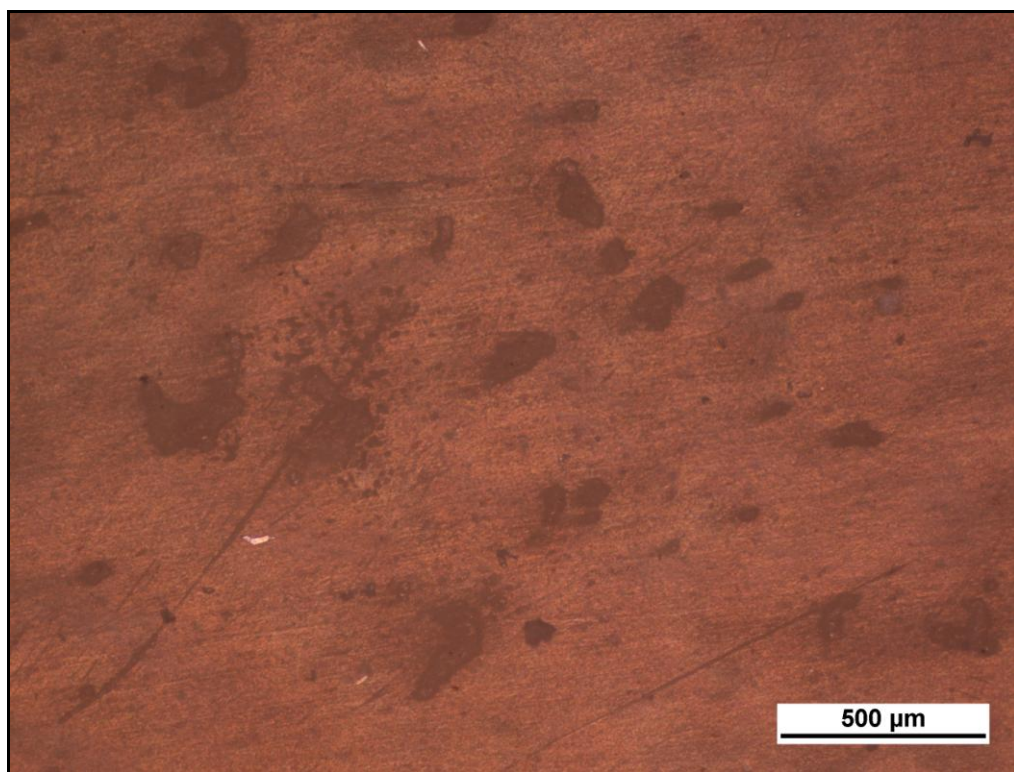
**Obr. 6.** Beton s geopolymery Q13 zvětšení 50x, ze snímku je patrný homogenní charakter povrchu



Hliník se musel před nanášením povlaku opracovat smirkovým papírem a odmastit. Na takto připraveném vzorku se utvořil celistvý povrch bez vad. Na pouze odmaštěném hliníkovém plechu se geopolymery Q13 nedržel a proto se s ním dále nebudeme zabývat.

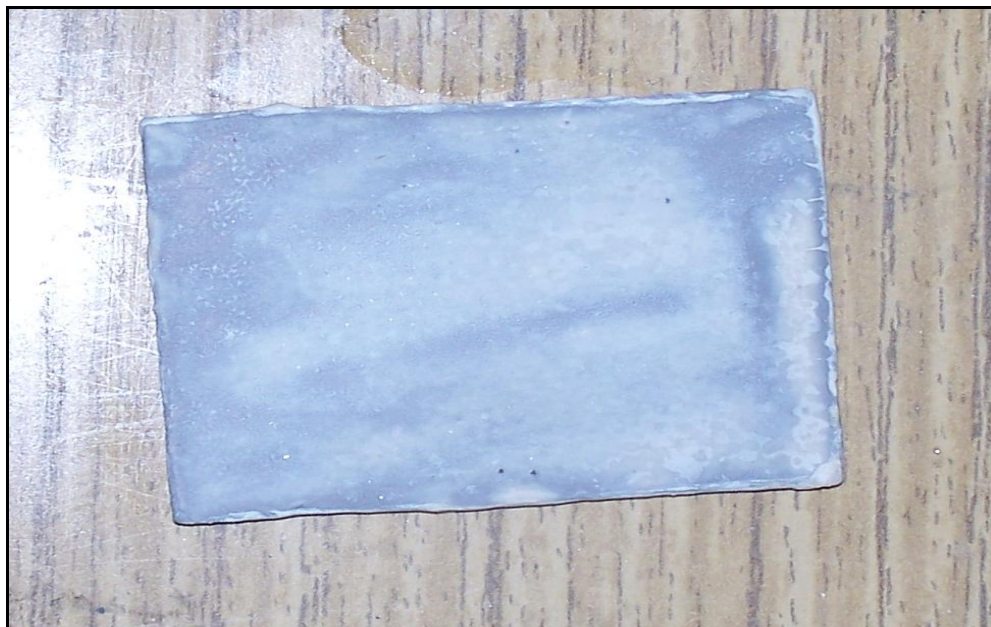


**Obr. 7.** *Hliník s geopolymery Q13 - přehledný snímek*

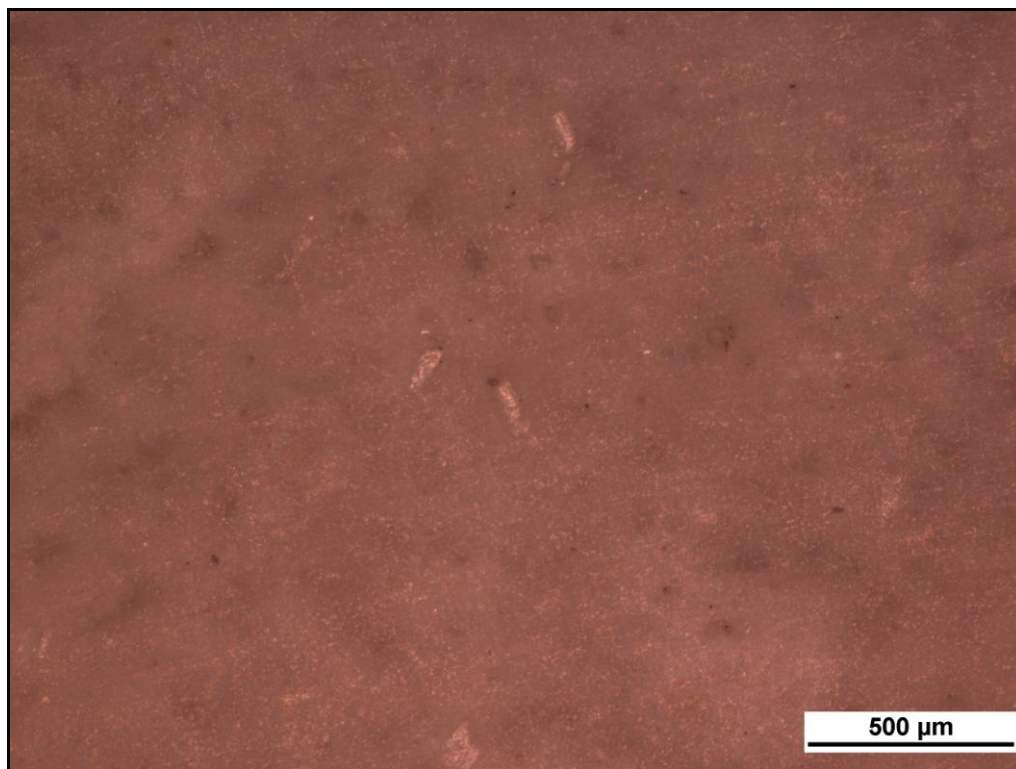


**Obr. 8.** *Hliník s geopolymery Q13 zvětšení 50x, ze snímku je patrný homogenní charakter povrchu*

Vzorky z ocelového plechu se použily ve dvou sadách provedení. Vzorky první sady se mechanicky neupravovaly, pouze se odmašťovaly lihem. Před aplikací povlaku se na povrchu plechu projevovala plošná koroze. Druhý vzorek se očistil od rzi pomocí smirkového papíru o zrnitosti 300 čímž se zároveň se zdrsnil povrch, po této úpravě se plech odmastil lihem.



**Obr. 9.** *Ocel broušená s geopolymérem Q13 – přehledný snímek*

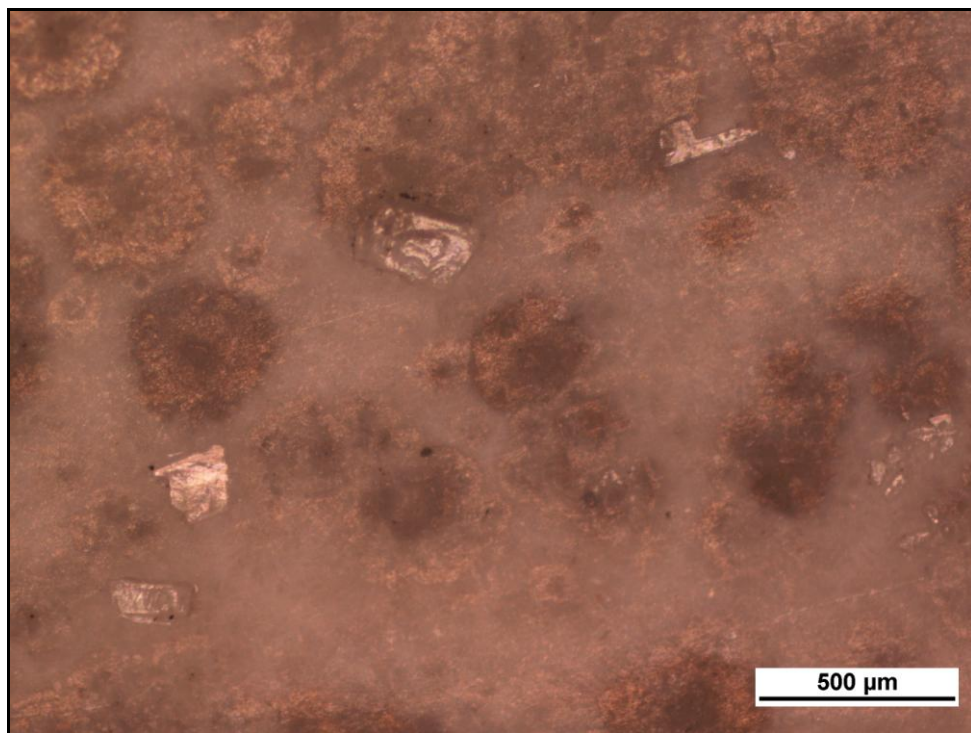


**Obr. 10.** *Ocel broušená s geopolymérem Q13 zvětšení 50x, ze snímku je patrný homogenní charakter povrchu*





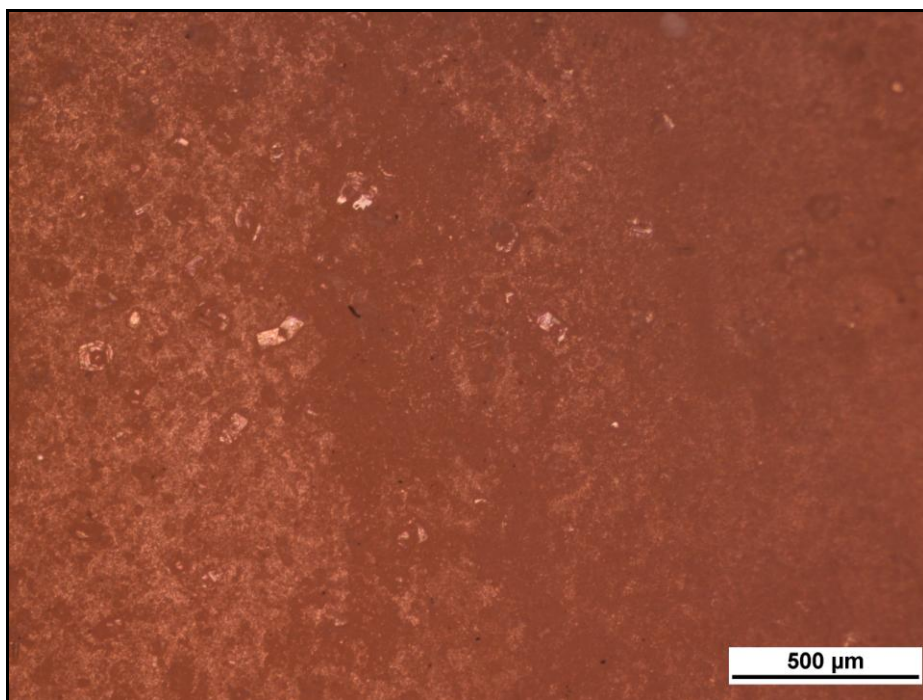
**Obr. 11.** *Ocel nebroušená s geopolymérem Q13 – přehledný snímek*



**Obr. 12.** *Ocel nebroušená s geopolymérem Q13 zvětšení 50x, ze snímku je patrný homogenní charakter povrchu*



Připravené vzorky ze dřeva se pouze očistily od vnějších hrubých nečistot. Geopolymer vytvořil kompaktní povlak bez trhlin a jiných poruch.



**Obr. 13.** *Dřevo s geopolymérem Q13 zvětšení 50x, ze snímku je patrný homogenní charakter povrchu*



**Obr. 14.** *Dřevo s geopolymérem Q13 – přehledný snímek*

Polykarbonát se použil ve dvou provedeních, v prvním provedení se povrch nijak neupravoval. Vrstva se sice vytvořila, ale nedržela na podkladu. To samé se projevovalo i po zdrsnění podkladu.

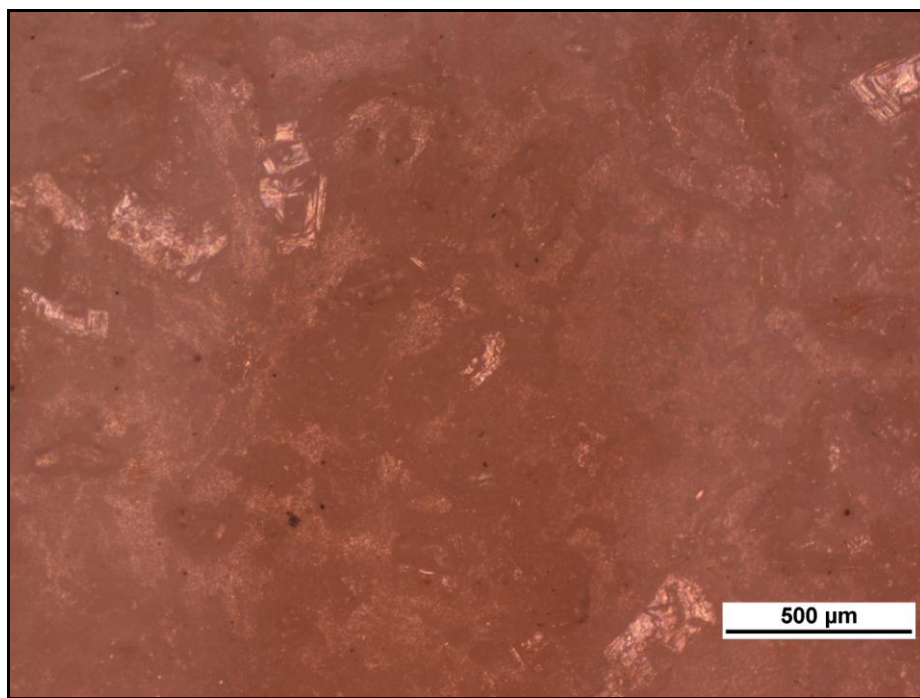


**Obr. 15.** Polykarbonát s geopolymérem Q13, na snímku je vidět odloupení povlaku

Povrch polystyrenu se nijak neupravoval a ani neodmašťoval. Ze snímků je patrné že povrch je kompaktní. Na obr. 13. jsou patrné tahy štětce, což je způsobeno částečným tuhnutím směsi během aplikace.



**Obr. 16.** Polystyren s geopolymérem Q13 – přehledný snímek



**Obr. 17.** *Polystyren s geopolymérem Q13 zvětšení 50x, ze snímku je patrný homogenní charakter povrchu*

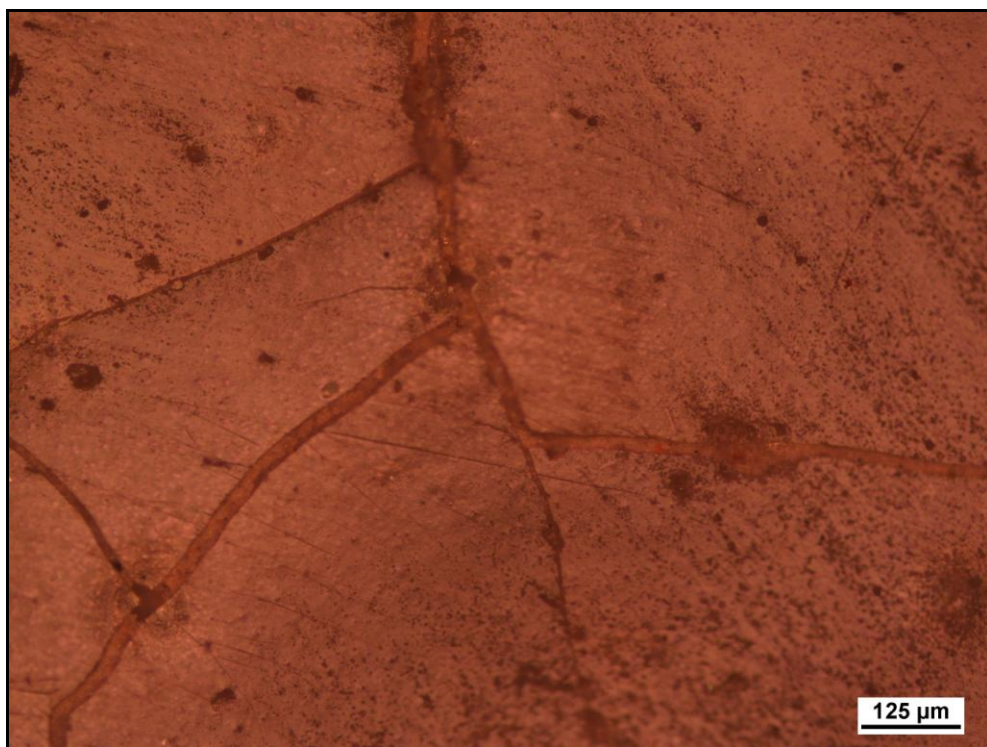
### **3.2.2. Povrch geopolymery Q17**

Vzorek betonu se pro nanášení nijak neupravoval, pouze se očistil od hrubých nečistot. Na betonu se po aplikaci a řádném vytvrzení objevují praskliny, což je zřejmě dáno tím, že v geopolymery není žádná příměs a dochází k většímu pnutí v povlaku. I přes praskliny je povrch hladký.



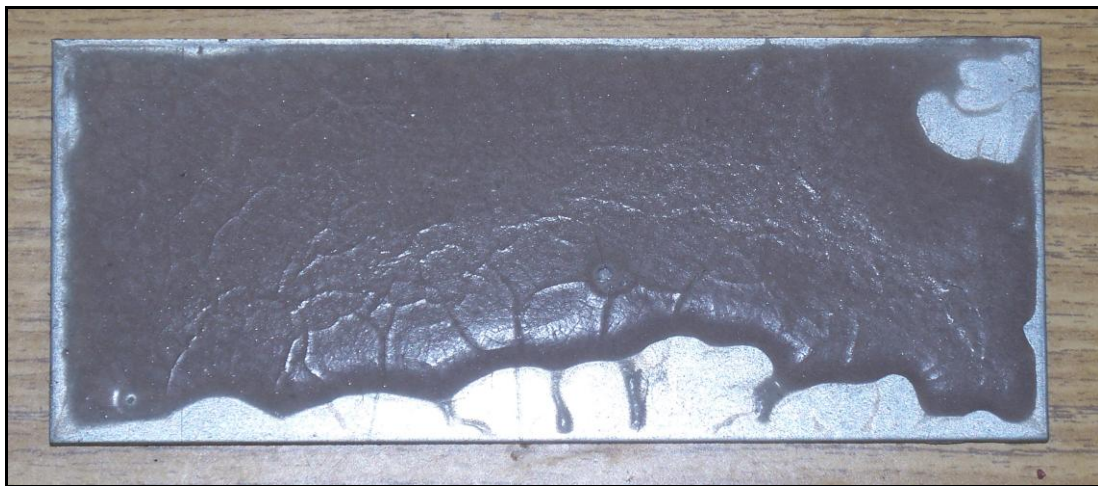
**Obr. 18.** *Beton s geopolymérem Q17 – přehledný snímek*



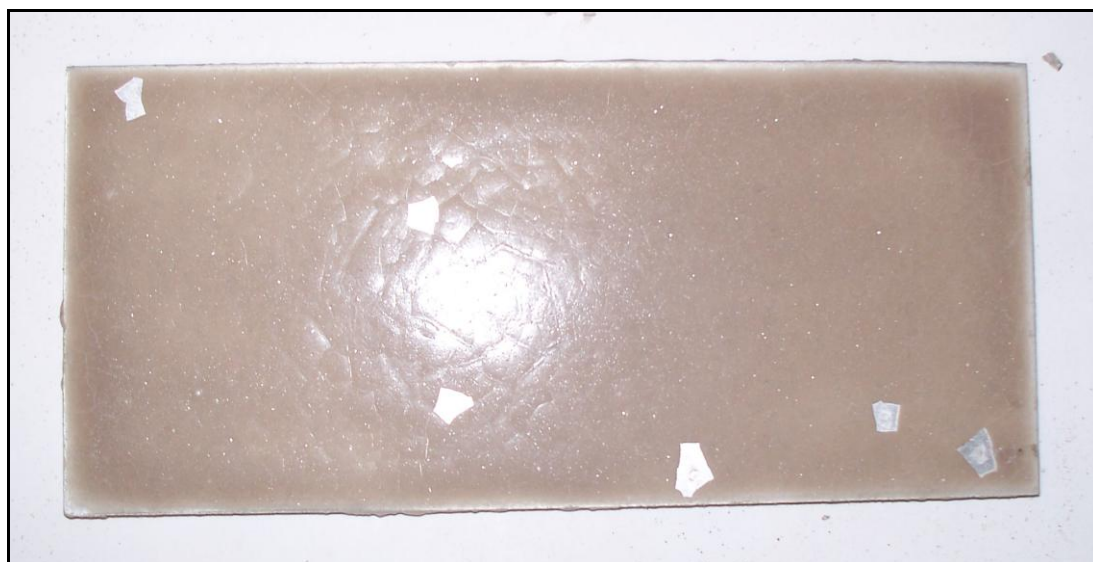


**Obr. 19.** Beton s geopolymérem Q17 zvětšení 100x, na snímku jsou vidět praskliny povlaku

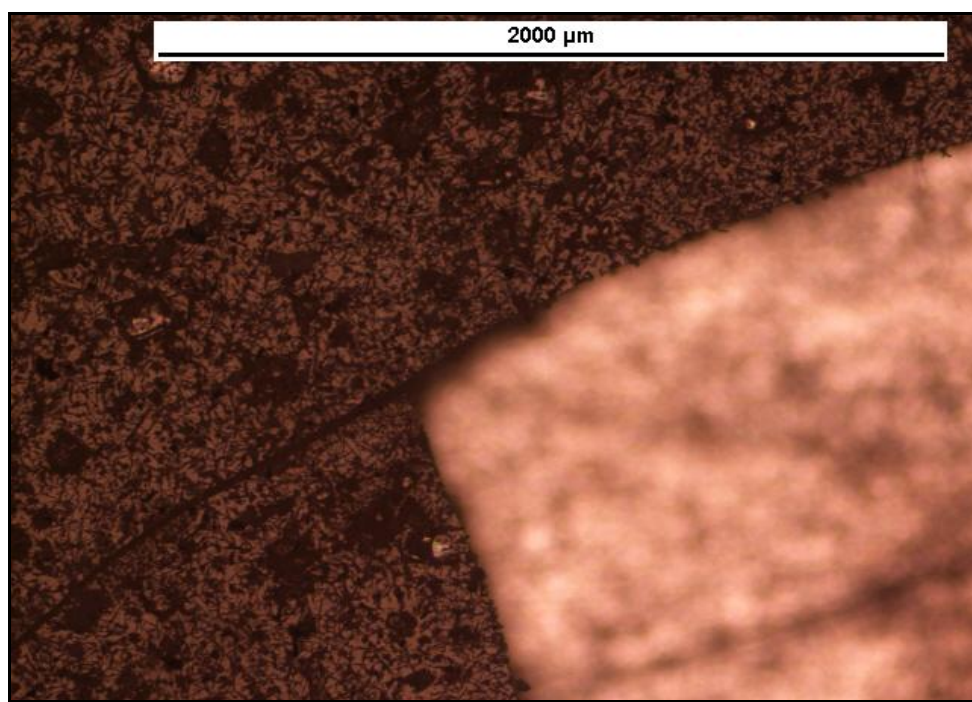
Při aplikování povlaku na vzorcích hliníku se připravovaly dvě sady vzorků. První sada se pouze odmašťovala lihem. Na takto upraveném vzorku geopolymer nedržel a tvořil shluky, jak je vidět na obr. 17. Druhá sada se zdrsnila smirkovým papírem o zrnitosti 300 a následně odmastila lihem. Vrstva byla homogenní v celé ploše, po vytvrzení se vytvořili šupinky viz obr. 18, které na podkladu příliš nedržely.



**Obr. 20.** Hliník s geopolymérem Q17 – přehledný snímek, lze vidět shluky



**Obr. 21.** Hliník zdrsňený s geopolymérem Q17 – přehledný snímek, lze vidět oddělující se šupinky



**Obr. 22.** Hliník s geopolymérem Q17 zvětšení 50x, na snímku je rozhraní šupinky s odloupnutou částí

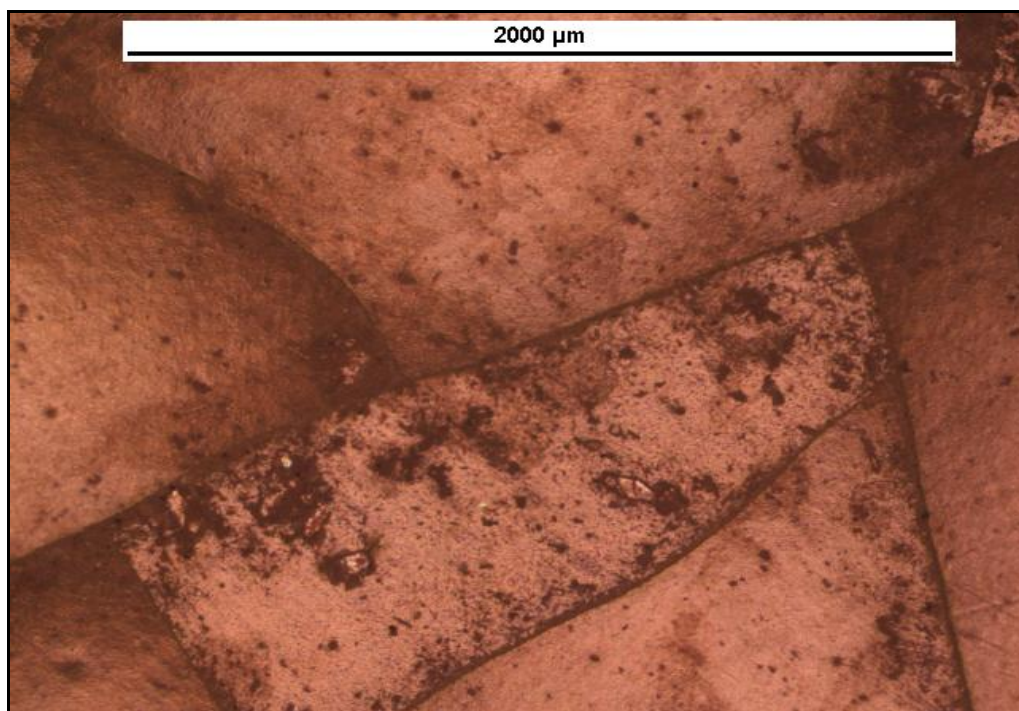
Ocelové vzorky se zhotovily ve dvou sadách. První sada se pouze odmastila lihem. Na tomto vzorku geopolymer po zaschnutí vytvořil šupinky a ty se odlupovaly od podkladu. Druhá sada byla očištěna a zdrsňena pomocí smrkového



papíru o zrnitosti 300 a následně se odmastila lihem. Ale i na této sadě vzorků se geopolymerní povlak neudržel a také se odlupoval v podobě šupinek.

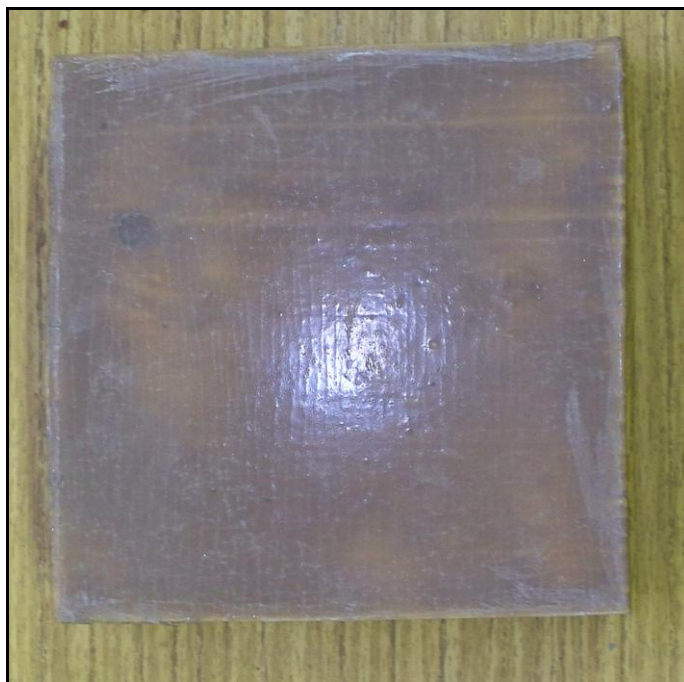


**Obr. 23.** Ocel broušená s geopolymérem Q17 – přehledný snímek, lze vidět množství oddělených šupinek

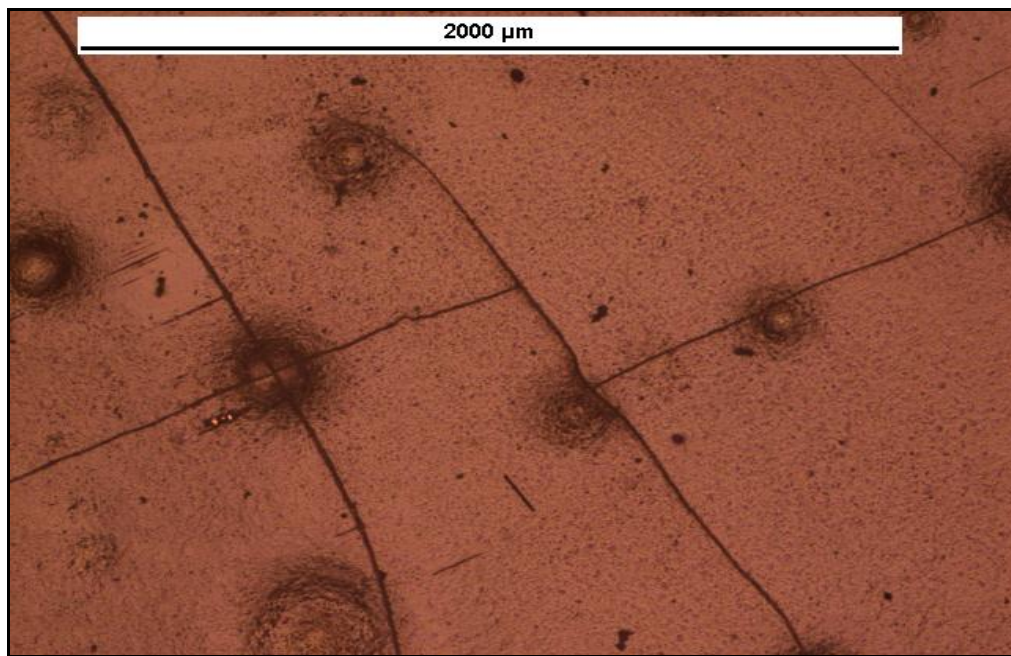


**Obr. 24.** Ocel s geopolymérem Q17, zvětšení 50x, na snímku jsou vidět vytvořené šupinky

Podkladové vzorky ze dřeva se pouze očistili od hrubých nečistot. Po nanesení a řádném vytvrdnutí Geopolymer Q17 tvoří prasklinky, které jsou kolmé k vláknům dřeva.



**Obr. 25.** *Dřevo s geopolymérem Q17 – přehledný snímek*

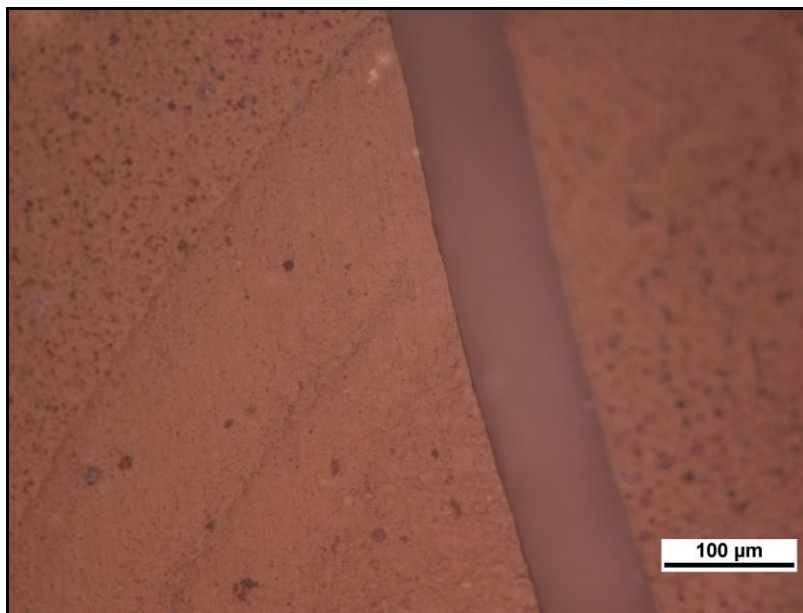


**Obr. 26.** *Dřevo s geopolymérem Q17 zvětšení 50x, na snímku jsou vidět praskliny povlaku*

Vzorky z polystyrenu se pouze očistily od hrubých nečistot. Na geopolymery se během vytvrzování objevily praskliny.



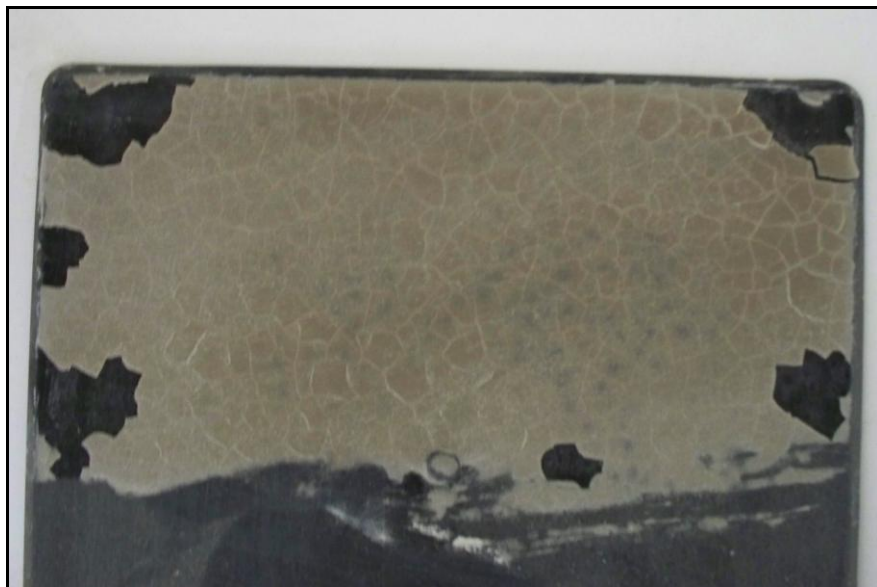
**Obr. 27.** Polystyren s geopolymery Q17 – přehledný snímek



**Obr. 28.** Polystyren s geopolymery Q17, prasklina zvětšení 200x, na snímku je zachycena prasklina povlaku



Geopolymer Q17 se vůči polykarbonátu choval obdobně jako geopolymer Q13. Na neošetřeném a na zdrsněném podkladu tvořil šupinky a následně odpadával.



**Obr. 29.** Polykarbonát s geopolymerem Q17 – přehledný snímek, lze vidět odlupující se geopolymer

### 3.2.3. Vyhodnocení charakteru povrchu

Při pozorování charakteru povrchu jsme dospěli závěru, že geopolymer Q13 na povrchu vybraných vzorků tvoří kvalitní kompaktní vrstvu a aplikace na podklad se provádí bez obtíží. Jediný problém nastal u odmaštěného hliníkového plechu, kde se geopolymer nedržel. To bylo nejspíše zapříčiněno zoxidovaným povrchem. Po odstranění zoxidované vrstvy povlak přilnul bez problému. Tento geopolymer vytvořil na polykarbonátu požadovanou vrstvu, ale kvůli nulové adhezi se vzorek nedá použít pro další pokusy.

Větší problémy nastaly při aplikaci geopolymerního Q17. Na všech površích má tendenci vytvářet trhlinky. Vykazuje snadnou aplikaci na beton. Při nanášení na polystyren se projevuje jeho nižší smáčivost vůči tomuto podkladu a proto bylo nutné vytvořit 2 -3 vrstvy. Na hliníkovém a ocelovém plechu se tvoří šupinky, které se pak odlupují a vykazují nulovou adhezi.

### 3.3. Odolnost vůči vybraným prostředím

Odolnost se testovala za vyšších teplot a prováděla se v pecích dostupných na katedře materiálu. Pro vzorky z betonu, oceli a hliníku se využilo pece typu MP6 s rozsahem teplot do 1200°C. Vzorky zůstaly na požadovaných teplotách po dobu 30 minut. Pro testování vzorků z polystyrenu a dřeva se využívalo pece BINDER FD 53. Zde se využívalo rozsahu teplot 100 – 200 °C.



**Obr. 30.** *Pec typu MP6*



**Obr.31.** *Binder FD 53*

Na peci typu MP6 jsme nastavili první teplotu 500°C. Vzorky se vkládali do pece při cca 200°C, to aby se dosáhlo plynulého prohřátí pokladového materiálu. Při dosažení požadované teploty se na vzorku s geopolymérem Q17 vytváří drsný povrch, nejspíš důsledkem vytvrzování směsi. Při prohřátí vzorku s geopolymérem Q13 se na povrchu vytvářejí praskliny.



**Obr. 32.** *Vzorky betonu před testováním*



**Obr. 33.** Beton s Q13 při 500°C,  
na snímku lze vidět praskliny



**Obr. 34.** Beton s Q17 při 500°C,  
na snímku lze vidět hrbolky

Po zvýšení a dosažení teploty 800°C, vzorky setrvaly na této teplotě také po dobu 30 minut. Na této teplotě se oba geopolymery zachovávaly stav, ve kterém se nacházely při teplotě 500°C. Jiné změny na vzorcích nebyly identifikovány.



**Obr. 35.** Beton s Q13 při 800°C  
na snímku lze vidět praskliny



**Obr. 36.** Beton s Q17 při 800°C  
na snímku lze vidět hrbolky

Konečná teplota u vzorků z betonu je 1000°C. Při této teplotě se u geopolymery Q13 opět nic neměnilo. Praskliny se nerozšiřovaly, ale začalo docházet k rozpadu podkladového materiálu. Na obnažených místech se to projevuje

*Možnosti využití geopolymerních materiálů jako povlaků konstrukčních prvků*

drolení betonu i s kousky geopolymerního materiálu. U geopolymerního materiálu Q13 dochází k natavení směsi a následnému zesklnění. Díky tomuto efektu se neprojevil rozpad betonu.



**Obr. 37.** Beton s Q13 při 1000°C  
na snímku lze vidět praskliny



**Obr. 38.** Beton s Q17 při 1000°C  
na snímku lze vidět přetavený povrch



**Obr. 39.** Beton s Q13 při 1000°C, patrné odlupování podkladu

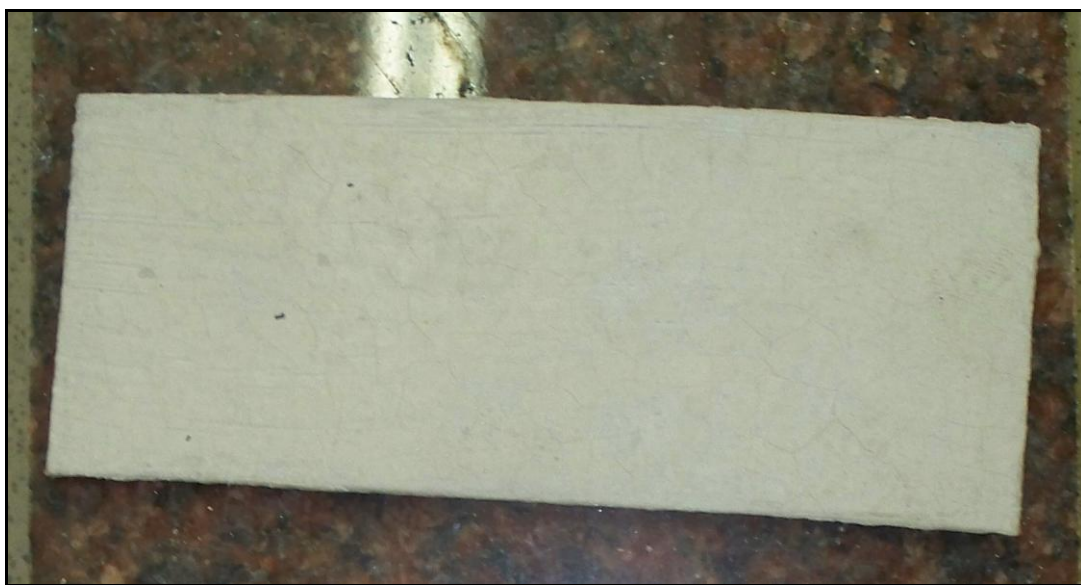


*Možnosti využití geopolymerních materiálů jako povlaků konstrukčních prvků*

Hliník se ohříval na 500°C. Vzorky se vkládaly při teplotě cca 200°C, aby došlo k pozvolnému prohřívání materiálu. Na kontrolním vzorku docházelo k mírné oxidaci povrchu viz. obr. 40. Na vzorku s geopolymery Q13 docházelo k praskání povlaku kvůli velké roztažnosti podkladu.



**Obr. 40.** *Hliník kontrolní vzorek při 500°C*



**Obr. 41.** *Hliník s geopolymery Q13 při 500°C*

Další teplotní oblast je kolem 650°C. Vzorek s geopolymérem Q13 odolával teplotám, problém nastal s roztažností hliníku, kdy po vytažení vzorku z pece nastalo smršťování podkladu a tím následné popraskání povlaku. Na kontrolním vzorku se vyskytují puchýřky.



**Obr. 42.** *Hliník s geopolymérem Q13 při 650°C, lze vidět praskání povlaku*



**Obr. 43.** *Hliník kontrolní vzorek s geopolymérem Q13 při 650°C, lze vidět porušení vlivem tepla*

Poslední testovaná oblast je na teplotě 800°C. Při této teplotě u kontrolního vzorku docházelo k roztavení. U geopolyméru Q13 došlo k roztavení podkladu, ale povlak setrval. Poškození na vzorku je zapříčiněno snahou vybrat vzorek z pece.

Během vychladnutí povlakovaného vzorku došlo k velkým deformacím a následkem toho došlo k odlupování povlaku.



**Obr. 44.** *Hliník s geopolymerním Q13 po vychladnutí z 1000°C a jeho následná deformace*



**Obr. 45.** *Vzorky hliníku při 800°C, na kontrolním vzorku lze vidět roztavení*

Vzorky z ocelového plechu se ohřály na 500°C na plechu, který byl broušený se neprojevily žádné známky poškození. Na vzorku, který nebyl opracovaný došlo k malému popraskání povlaku. Na kontrolním vzorku jsme neshledali žádné změny.





**Obr. 46.** *Ocel s Q13 broušený*



**Obr. 47** *Ocel s Q13 nebroušená  
lze vidět praskání povlaku*



**Obr. 48.** *Ocel kontrolní vzorek při 500°C*

Další ohřátí vzorků bylo na teplotu 650°C . Na neopracovaném ocelovém vzorku došlo k popraskání povlaku a proto dále nebyl sledován. Na broušeném vzorku povlak nadále přetrvával. Na kontrolním vzorku se začíná vyskytovat oxidace.

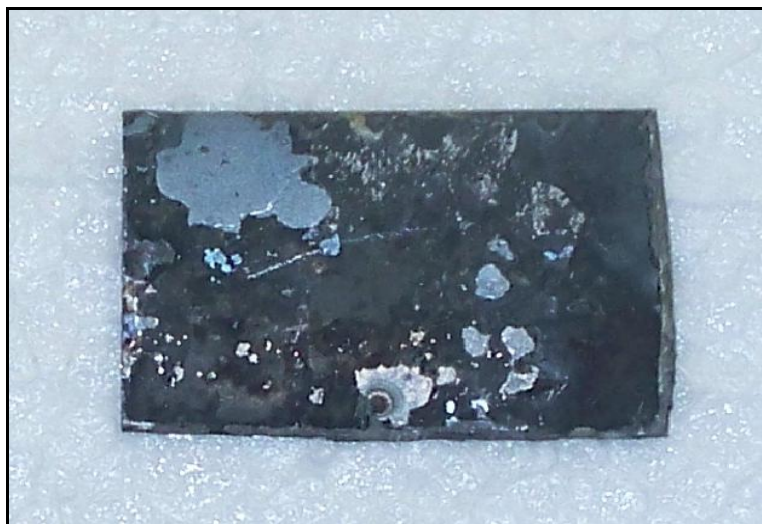




**Obr. 49.** *Ocel s Q13 broušený při 650°C*



**Obr. 50.** *Ocel s Q13 nebroušený  
Při 650°C, je patrné porušení povlaku*



**Obr. 51.** *Ocel při 650°C, kontrolní vzorek. Na snímku lze vidět oxidaci*

Poslední testovaná oblast pro vzorky z oceli byla při teplotě 800°C. Na ocelovém broušeném vzorku s geopolymerním Q13 dochází k popraskání a odlupování povlaku. Na kontrolním vzorku se objevují okruhy.

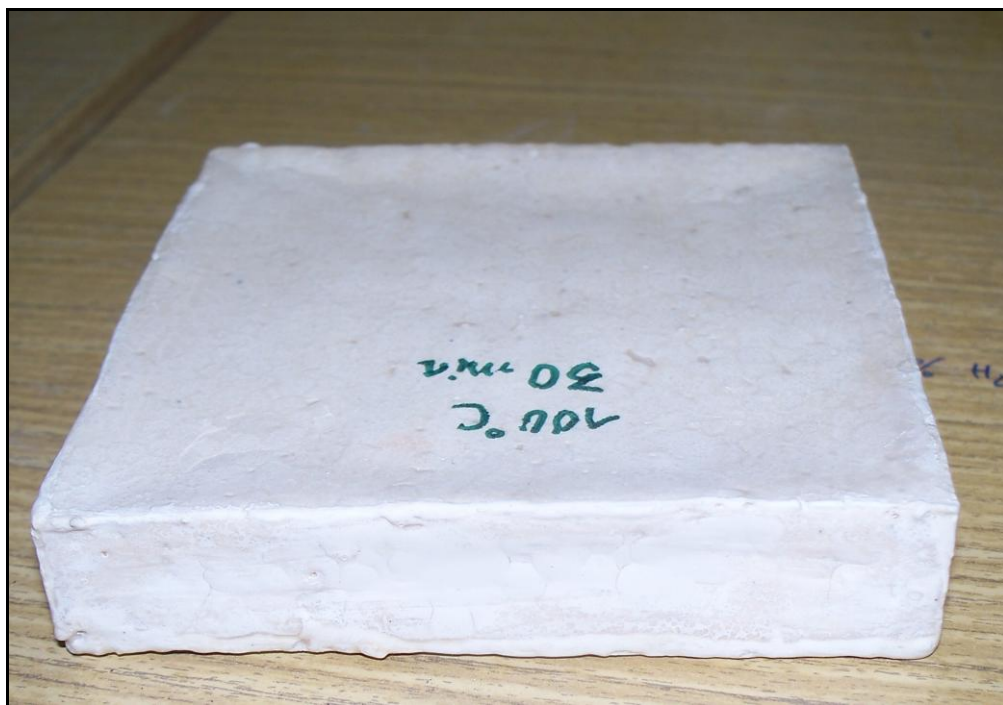


**Obr. 52.** *Ocel broušená s Q13 při 800°C  
lze vidět praskání povlaku*

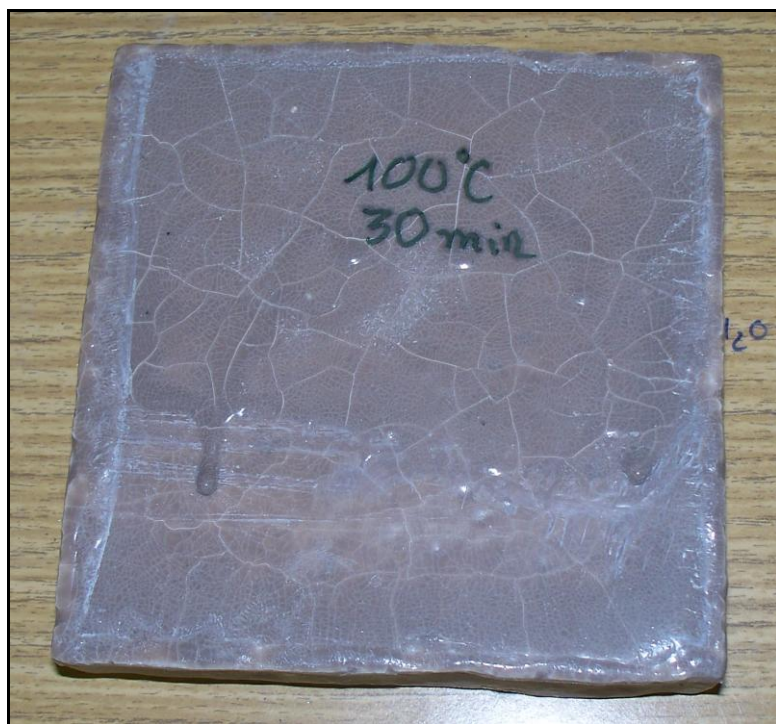


**Obr. 53.** *Ocel při 800°C, kontrolní  
vzorek s jasnou oxidací povrchu*

Pec BINDER FD 53 má od výrobce nainstalován časový ovladač teploty. Po nastavení teploty 100°C a času 30 minut, jsme vložili vzorky polystyrenu s povlakem geopolymery. Po temperaci se na geopolymery Q17 neprojevovaly žádné změny i po přeměření. Na vzorku s geopolymery Q13 se projevuje smršťování podkladu, které bylo pozorováno na kontrolním vzorku. Kontrolní vzorek z rozměrů 100x100 se zmenšil na rozměry 91x91



**Obr. 54.** *Polystyren s geopolymery Q13 při 100°C, v horní části vzorku je patrné  
propadnutí podkladu.*



**Obr. 55.** Polystyren s geopolymérem Q17 při 100°C, na vzorku se neprojevuje žádná změna

Další ohřátí bylo na teplotu 150°C. Vzorek s geopolymérem Q17 se vlivem teploty zhroutil. Protože na vzorku byly už po vytvrzení praskliny, povlak se na rozhraní rozlámá. U vzorek s geopolymérem Q13 došlo ke zhroucení podkladu. Povlak nejevil známky poškození vlivem teploty. Kvůli slabému místu na hranách vzorku došlo k jeho prasknutí vlivem silného smršťování polystyrenu, které je patrné na kontrolním vzorku.



**Obr. 56.** Polystyren s geopolymérem Q17 při 150°C, na snímku je vidět rozlámání povlaku.





**Obr. 57.** Polystyren s geopolymérem Q13 při 150°C, na snímku je vidět smrštění podkladu a prasknutí na rozhraní. Pohledová strana byla odstraněna kvůli dokumentaci.



**Obr. 58.** Polystyren kontrolní při 150°C, vzorek se smrštil z rozměrů 100x100 na rozměry 38x38

Naposled se testoval vzorek ze dřeva, který byl ohřát na 100°C. Na vzorcích se projevuje praskání podkladového materiálu a tím i následně praskání geopolymerního povlaku. Geopolymer Q13 neprojevuje žádnou změnu. Na geopolyméru Q17 se začíná projevovat vytvrzování povlaku.



**Obr. 59.** *Dřevo s geopolymérem Q13 při 100°, ve spodní části lze vidět odlupování povlaku vlivem sesychání podkladu.*

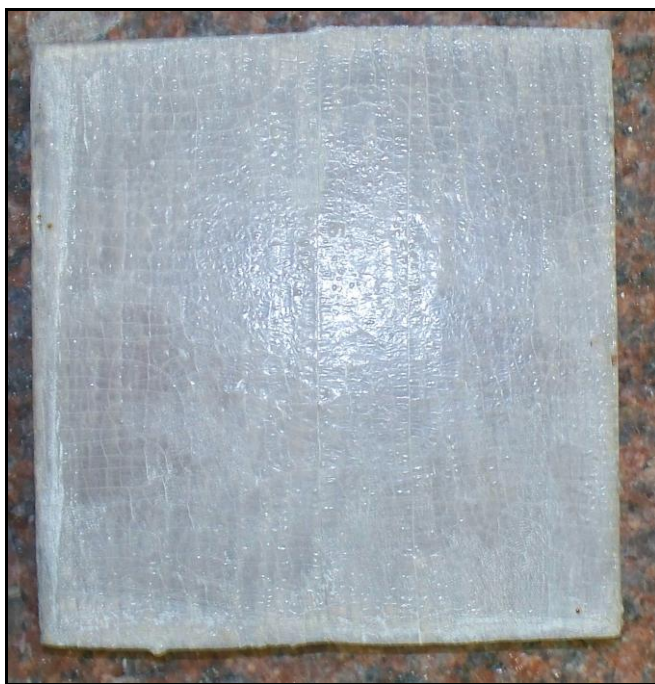


**Obr. 60.** *Dřevo s geopolymérem Q17 při 100°C, v horní části lze vidět prasklinu, která je způsobena praskáním podkladu.*

Vzorky ohřáté na teplotu 150°C vykazují větší sesychání podkladu. Na obou vzorcích se projevuje praskání povlaku vlivem, které je odvozené od podkladového materiálu.



**Obr. 61.** *Dřevo s geopolymérem Q13 při 150°C, na snímku lze vidět praskání povlaku*



**Obr. 62.** *Dřevo s geopolymérem Q17 při 150°C, na snímku lze vidět praskání povlaku.*

### **3.3.1. Vyhodnocení tepelné odolnosti**

Beton s geopolymérem Q17 vytváří hrbolatý povrch. Geopolymer Q13 při teplotách kolem 500°C praská vlivem vytvrzování povlaku. Po dosažení teploty 1000°C se geopolymer Q17 natavuje a vytváří sklovitý povrch, který uzavírá betonový podklad. Geopolymer Q13 se po vypálení na 1000°C odlupuje vlivem tepelné degradace podkladu.

Na hliníku a oceli nastal problém z roztažností a následnou deformací při chladnutí, na tyto změny nedokázal geopolymer patřičně reagovat. Vlivem sesychání dřeva dochází k praskání geopolymerního materiálu.

Polystyren po zahřátí uvolňuje styren a tím dochází ke smršťování materiálu a geopolymer Q17 se rozlámá na menší plošky. U geopolyméru Q13 jsme neshledali žádné poškození vlivem tepla, popraskal pouze na hranách vzorku což bylo zapříčiněno slabší vrstvou. Problém nastal u podkladového materiálu, který nedokázal odolávat teplotám.

### **3.4. Zkouška adheze k podkladu**

Zkouška adheze se provádí podle normy ČSN ISO 2409, která je uvedena v příloze. Jedná se o metodu mřížkového řezu.

Zkouška se prováděla pomocí ručního jednoduchého nástroje. Tento nástroj je zhotoven ze šroubováku, který je vybroušen a naostřen na požadovanou geometrii břitu dle normy ČSN ISO 2409. Tímto nástrojem jsem zhotovoval požadovanou mřížku pomocí vodící lišty, která je zhotovena z ploché tyče.

Na zkušebním vzorku jsem zhotovil 6 požadovaných řezů, které mají rozestupy 3mm, délka řezů byla 20mm. Tento rozstup se měřil pomocí ocelového posuvného měřidla. Následně se kontrolní vzorek otočil o 90°C a zhotovilo se zbylých 6 řezů, tak aby vznikla mřížka. Řezný nástroj se musel často kontrolovat a ostřit, neboť docházelo díky pevnému geopolyméru k otupení řezného břitu. Po zhotovení mřížky se řezy očistily měkkým štětcem a následně se přilepila lepicí páska. Páska se pro řádné přilepení přitlačila prstem. Odtrhnutí pásky se provádělo podle normy a to v rozmezí 0,5 až 1 vteřina. Ihned po řádném zhotovení mřížky a všech činnostech následovalo vyhodnocení zkoušky adheze. Experiment byl na každém vzorku proveden třikrát.

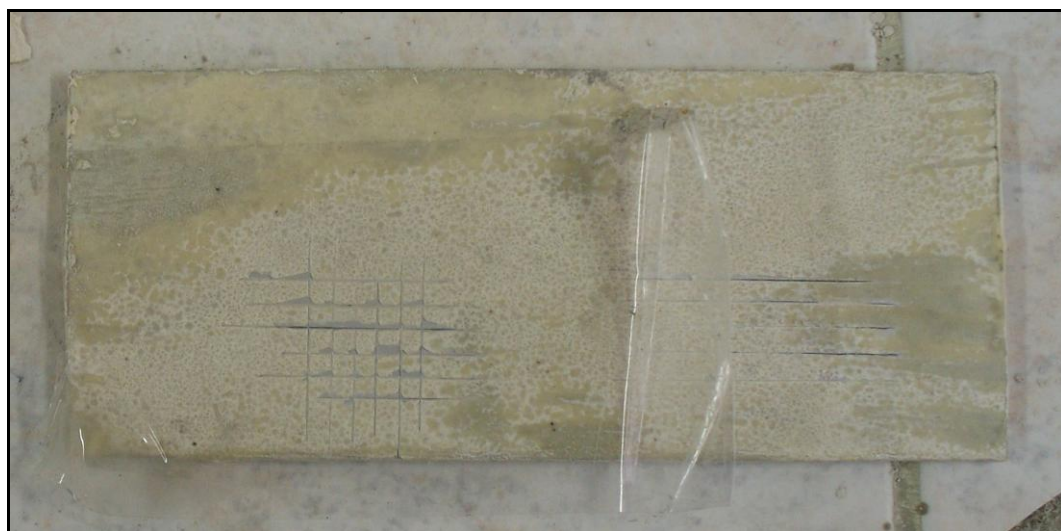




**Obr. 63.** *Ocelové posuvné pravítko, kterým se odměřovaly jednotlivé řezy*




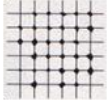



**Obr. 64.** *Řezný nástroj pro zhotovování řezu*




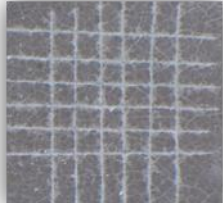

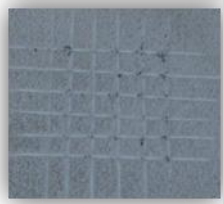
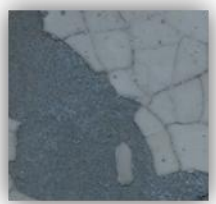


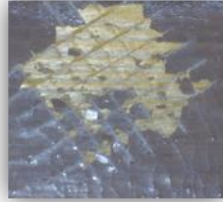

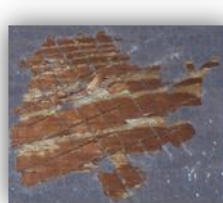
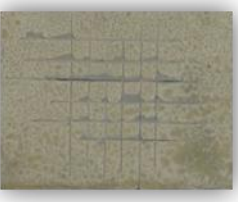

**Obr. 65.** *Přilepení lepicí pásky na zkušební vzorek.*



**Tab. 3. Klasifikace zkušebních vzorků**

Klasifikace	Popis	
0	Řezy jsou zcela hladké, žádný čtverec není poškozen.	
1	Nepatrné poškození v místech, kde se řezy kříží. Poškozená plocha nesmí přesahovat 5%.	
2	Nátěr je nepatrně poškozen podél řezu a při jejich křížení. Povrch mřížky smí být poškozen o více než 5% a méně než 15% celkové plochy.	
3	Nátěr je částečně poškozen v rozích řezu, podél řezných hran částečně nebo celý, na různých místech mřížky. Poškození mřížky je větší než 15%, ale menší než 35%.	
4	Na nátěru jsou velké změny v rozích řezu a některé čtverečky jsou částečně nebo zcela poškozeny. Plocha mřížky je poškozena z více než 35%, ale méně než z 65%.	
5	Změny, které jsou větší než u stupně 4.	

**Tab. 4.** Vyhodnocení zkoušky adheze k podkladu

Podkladový materiál	dosažená klasifikace geopolymer		mřížkový řez	
	Q13	Q17	Q13	Q17
Beton	3	2		
Beton při 800°C	4	3		
Beton při 1000°C	nehodnoceno	nehodnoceno		
Dřevo	5	5		
dřevo při 200°C	5	5		
Hliník	3	nehodnoceno		
Ocel	3	nehodnoceno		

### **3.4.1. Vyhodnocení zkoušky adheze**

Z požadované zkoušky jsme zjistili, že geopolymery Q17 i přesto, že povlak praská, má o stupeň lepší adhezi než geopolymery Q13, který vytváří kompaktní povlak. Do teplot cca 800°C je tento rozdíl neměnný. U vzorku, který se ohřál na teplotu 1000°C se zkouška vyhodnotila jako nesplněna a to z toho důvodu, že u geopolymery Q13 došlo k rozpadu podkladového materiálu a odlupovaly se celé vrstvy betonu. Naproti tomu geopolymery Q17 při teplotách blízcím se k teplotám 1000°C, se natavuje a po vychladnutí zesklívná. Při tomto procesu povlak nabyl na objemu a vrstva proto nebyla proříznuta.

Adheze u dřeva je velice špatná, prakticky nulová. Povlak se odlupuje už po zhotovení prvních řezů. Po ohřátí na 200°C se tento stav ještě zhoršil tím, že se povlak odlupuje už po vniknutí nástroje.

Povlak na hliníkovém podkladu se testoval pouze u geopolymery Q13. Zbylé vzorky se neosvědčily při předchozích pokusech. Tento geopolymery vykazuje dobrou přilnavost k podkladu. Hliníkový plech musel být zdrsňen smirkovým papírem o drsnosti 300 a odmašťen lihem. Ocelový vzorek se také testoval pouze s geopolymery Q13 a byla provedena stejná úprava jako u hliníkového plechu. Povlak na podkladu má chvalitebnou adhezi.

U polystyrenu se zkouška klasifikovala jako nesplněna a to proto, že podklad je velice měkký a při vnikání nástroje do povlaku nastane destrukce podkladového materiálu. Tento stav se vyskytuje pro oba geopolymery.

## IV. ZÁVĚR

V současné době existuje velký rozsah konstrukčních materiálů. S tím vzniká potřeba tyto materiály chránit, aby se rozšířila oblast využití a zvýšila životnost dílů.

**Tato práce zkoumá možnost využití geopolymery jako ochranných povlaků pro konstrukční materiály.**

Z pozorování nanášení geopolymerního povlaku na podkladové materiály jsme dospěli k závěru, že pro aplikaci na ocel a hliník je nutná důkladná povrchová úprava, zde je nutné zaměřit pozornost na kvalitní opracování povrchu. Beton se jeví jako ideální podkladový materiál, neboť se geopolymer nanáší velice snadno a tvoří kompaktní povlak. Zde vidím jeho využití jako ochranný nátěr betonových dílů. Geopolymer Q13 se snadno nanáší i na polystyren.

Z výsledků tepelné odolnosti a ochrany podkladového materiálu bylo zjištěno, že geopolymer se nehodí jako povlak na materiály, které mají velkou tepelnou roztažnost např. hliník, ocel, protože geopolymer nedokáže na tuto vlastnost reagovat a dochází k jeho destrukci. Dobře chrání beton před vlivem tepla, kde dochází k vytvrzení povlaku a ochraně podkladu. Při extrémních teplotách kolem 1000°C už povlak nedokáže chránit podklad. Na polystyrenu se osvědčil geopolymer Q13, který zachovává svůj stav a vlastnosti, i po zahřátí polystyrenu na kritickou teplotu. Zde je možnost využití ochrany polystyrenu před mechanickým poškozením v oblastech s vyšší teplotou.

Ze zkoušek adheze geopolymery k různým podkladům je patrné že má špatnou přilnavost k většině vybraným podkladovým materiálům. Lepších výsledku se dosahuje pouze u betonu, což je nejspíš zapříčiněno pórovitostí podkladu a podobných chemických složení, ale i u ocelového a hliníkového plechu, které se musely před nanášením upravit. Na neopracované plechy se geopolymerní povlak neuchytil a vykazoval nulovou adhezi.

Z této práce je patrné, že geopolymer se jako ochranný povlak nejlépe hodí na beton a polystyren. Pro použití např. na ocelích je nutná dokonalá příprava povrchu. Tato oblast by se měla dále prozkoumat.

## **V. SEZNAM OBRÁZKŮ A ODKAZŮ**

**Obr. 1.** Typy polysialátu a jejich schéma jejich molekulárních struktury. [9]

**Obr. 2.** Kroky v přípravě geopolymerní směsi: (1) odvážení poměru složek, (2) a (3) míchání směsi.

**Obr. 3.** Připravený geopolymer Q13

**Obr. 4.** Metalografický mikroskop

**Obr. 5.** Beton s geopolymerem Q13 – přehledný snímek

**Obr. 6.** Beton s geopolymerem Q13 zvětšení 50x, ze snímku je patrný homogenní charakter povrchu

**Obr. 7.** Hliník s geopolymerem Q13 - přehledný snímek

**Obr. 8.** Hliník s geopolymerem Q13 zvětšení 50x, ze snímku je patrný homogenní charakter povrchu

**Obr. 9.** Ocel broušená s geopolymerem Q13 – přehledný snímek

**Obr. 10.** Ocel broušená s geopolymerem Q13 zvětšení 50x, ze snímku je patrný homogenní charakter povrchu

**Obr. 11.** Ocel nebroušená s geopolymerem Q13 – přehledný snímek

**Obr. 12.** Ocel nebroušená s geopolymerem Q13 zvětšení 50x, ze snímku je patrný homogenní charakter povrchu

**Obr. 13.** Dřevo s geopolymerem Q13 zvětšení 50x, ze snímku je patrný homogenní charakter povrchu

**Obr. 14.** Dřevo s geopolymerem Q13 – přehledný snímek

**Obr. 15.** Polykarbonát s geopolymerem Q13, na snímku je vidět odloupení povlaku

**Obr. 16.** Polystyren s geopolymerem Q13 – přehledný snímek

**Obr. 17.** Polystyren s geopolymerem Q13 zvětšení 50x, ze snímku je patrný homogenní charakter povrchu

**Obr. 18.** Beton s geopolymerem Q17 – přehledný snímek

**Obr. 19.** Beton s geopolymerem Q17 zvětšení 100x, na snímku jsou vidět praskliny povlaku

**Obr. 20.** Hliník s geopolymerem Q17 – přehledný snímek, lze vidět shluky

**Obr. 21.** Hliník zdrsňený s geopolymerem Q17 – přehledný snímek, lze vidět oddělující se šupinky

**Obr. 22.** Hliník s geopolymerem Q17 zvětšení 50x, na snímku je rozhraní šupinky s odloupnutou částí

**Obr. 23.** *Ocel broušená s geopolymérem Q17 – přehledný snímek, lze vidět množství oddělených šupinek*

**Obr. 24.** *Ocel s geopolymérem Q17, zvětšení 50x, na snímku jsou vidět vytvořené šupinky*

**Obr. 25.** *Dřevo s geopolymérem Q17 – přehledný snímek*

**Obr. 26.** *Dřevo s geopolymérem Q17 zvětšení 50x, na snímku jsou vidět praskliny povlaku*

**Obr. 27.** *Polystyren s geopolymérem Q17 – přehledný snímek*

**Obr. 28.** *Polystyren s geopolymérem Q17, prasklina zvětšení 200x, na snímku je zachycena prasklina povlaku*

**Obr. 29.** *Polykarbonát s geopolymérem Q17 – přehledný snímek, lze vidět odlupující se geopolymér*

**Obr. 30.** *Pec typu MP6*

**Obr.31.** *Binder FD 53*

**Obr. 32.** *Vzorky betonu před testováním*

**Obr. 33.** *Beton s Q13 při 500°C na snímku lze vidět praskliny*

**Obr. 34.** *Beton s Q17 při 500°C, na snímku lze vidět hrbolky*

**Obr. 35.** *Beton s Q13 při 800°C na snímku lze vidět praskliny*

**Obr. 36.** *Beton s Q17 při 800°C na snímku lze vidět hrbolky*

**Obr. 37.** *Beton s Q13 při 1000°C na snímku lze vidět praskli*

**Obr. 38.** *Beton s Q17 při 1000°C na snímku lze vidět přetavený povrch*

**Obr. 39.** *Beton s Q13 při 1000°C, patrné odlupování podkladu*

**Obr. 40.** *Hliník kontrolní vzorek při 500°C*

**Obr. 41.** *Hliník s geopolymérem Q13 při 500°C*

**Obr. 42.** *Hliník s geopolymérem Q13 při 650°C, lze vidět praskání povlaku*

**Obr. 43.** *Hliník kontrolní vzorek s geopolymérem Q13 při 650°C, lze vidět porušení vlivem tepla*

**Obr. 44.** *Hliník s geopolymérem Q13 po vychladnutí z 1000°C a jeho následná deformace*

**Obr. 45.** *Vzorky hliníku při 800°C, na kontrolním vzorku lze vidět roztavení*

**Obr. 46.** *Ocel s Q13 broušený*

**Obr. 47.** *Ocel s Q13 nebroušená lze vidět praskání povlaku*

**Obr. 48.** *Ocel kontrolní vzorek při 500°C*

**Obr. 49.** *Ocel s Q13 broušený při 650°C*



**Obr. 50.** *Ocel s Q13 nebroušený Při 650°C, je patrné porušení povlaku*

**Obr. 51.** *Ocel při 650°C, kontrolní vzorek. Na snímku lze vidět oxidaci*

**Obr. 52.** *Ocel broušená s Q13 při 800°C lze vidět praskání povlaku*

**Obr. 53.** *Ocel při 800°C, kontrolní vzorek s jasnou oxidací povrchu*

**Obr. 54.** *Polystyren s geopolymérem Q13 při 100°C, v horní části vzorku je patrné propadnutí podkladu.*

**Obr. 55.** *Polystyren s geopolymérem Q17 při 100°C, na vzorku se neprojevuje žádná změna*

**Obr. 56.** *Polystyren s geopolymérem Q17 při 150°C, na snímku je vidět rozlámání povlaku.*

**Obr. 57.** *Polystyren s geopolymérem Q13 při 150°C. na snímku je vidět smrštění podkladu a prasknutí na rozhraní. Pohledová strana byla odstraněna kvůli dokumentaci.*

**Obr. 58.** *Polystyren kontrolní při 150°C, vzorek se smrští z rozměrů 100x100 na rozměry 38x38*

**Obr. 59.** *Dřevo s geopolymérem Q13 při 100°, ve spodní části lze vidět odlupování povlaku vlivem sesychání podkladu.*

**Obr. 60.** *Dřevo s geopolymérem Q17 při 100°C, v horní části lze vidět prasklinu, která je způsobena praskáním podkladu.*

**Obr. 61.** *Dřevo s geopolymérem Q13 při 150°C, na snímku lze vidět praskání povlaku*

**Obr. 62.** *Dřevo s geopolymérem Q17 při 150°C, na snímku lze vidět praskání povlaku.*

**Obr. 63.** *Ocelové posuvné pravítko, kterým se odměřovaly jednotlivé řezy*

**Obr. 64.** *Řezný nástroj pro zhotovování řezu*

**Obr. 65.** *Přilepení lepicí pásky na zkušební vzorek.*

**Tabulka. 1.** *Základní vlastnosti geopolymerních materiálů v porovnání s materiály běžně používanými [9,11,12]*

**Tabulka. 2.** *Poměr surovin geopolyméru Q17*

**Tabulka. 3.** *Klasifikace zkušebních vzorků*

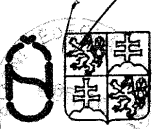
**Tabulka. 4.** *Vyhodnocení zkoušky adheze k podkladu*

## VI. LITERATURA

- [1] Kynclová, M.: Geopolymetní betony – materiály šetrné k životnímu prostředí, Juniorstav 2008 – 4.2 Nové stavební hmoty; Ed.; 2008
- [1] KAFKA E. : Dřevařská příručka. SNTL Praha, 1989
- [2] DAVIDOVITS, J.: Geopolymer Chemistry and Properties - *Geopolymer '88', Vol.1*
- [3] Jasiczek M. : Hodnocení fyzikálních vlastností kompozitních systémů s geopolymerní maticí.
- [4] 21. Století 1. Leden 2011
- [5] [www.polystyren.navajo.cz](http://www.polystyren.navajo.cz) [online 23.03.2011]
- [6] KONG, L.Y., Sanjayan, J.G.: Comparative performance of geopolymers made with metakaolin and fly ash after exposure to elevated temperatures – Cement and Concrete Research 37 (2007), pp. 1583–1589.
- [7] [www.vscht.cz](http://www.vscht.cz) [online 15.03.2011]
- [8] [www.pavel.borovina.net/skola/04/BETONY.doc](http://www.pavel.borovina.net/skola/04/BETONY.doc)
- [9] [www.cs.wikipedia.org](http://www.cs.wikipedia.org) [online 15.03.2011]
- [10] Jech, J. Tepelné zpracování oceli, SNTL, 1969, Praha.
- [11] <http://www.fce.vutbr.cz> [online 05.04.2011]
- [12] Jareš V. : Ocel, SNTL, 1962, PRAHA

## VII. PŘÍLOHY

### 7.1. Příloha 1

ČSN ISO 2409 (67 3085)	MDT 667.612	ČESKOSLOVENSKÁ NORMA	Březen 1993
		Nátěrové hmoty	ČSN ISO 2409
		MŘÍŽKOVÁ ZKOUŠKA	67 3085
<p>Paints and varnishes. Cross-cut test Peintures et vernis. Essai de quadrillage Anstrichstoffen. Gitterschnittprüfung</p> <p>Tato norma obsahuje ISO 2409:1992.</p> <p><b>Národní předmluva</b></p> <p><b>Citované normy</b></p> <p>IEC 454-2 dosud nezavedena ISO 1512 dosud nezavedena ISO 1513 dosud nezavedena ISO 1514 dosud nezavedena ISO 1524 dosud nezavedena ISO 2808 dosud nezavedena ISO 3270 dosud nezavedena ISO 4624 dosud nezavedena</p> <p><b>Další související normy</b></p> <p>ČSN 01 8003 Zásady pro bezpečnou práci v chemických laboratořích</p> <p><b>Nahrazení předchozích norem</b></p> <p>Tato norma nahrazuje ČSN 67 3085 z 6. 12. 1982 v celém rozsahu.</p> <p><b>Deskriptory podle Tezauru ISO ROOT</b></p> <p>kód deskriptoru/znění deskriptoru: VRC/VRH/barvy nátěrové, VTF/DD/laky, BL/BY/zkoušení, VRG.R/zkouška stříkem, BNT.D/adhezni zkoušky, BLB/zkušební zařízení, BLG/zkušební vzorky, zkušební tělesa</p> <p><b>Vypracování normy</b></p> <p>Zpracovatel: Barvy a laky, s. p. — Výzkumný ústav nátěrových hmot, Praha, IČO 011 762 — Ing. Karel Míček Technická normalizační komise: TNK 32 Ochrana proti korozi Pracovník Federálního úřadu pro normalizaci a měření: Ing. Z. Klímošová</p> <p>© Federální úřad pro normalizaci a měření</p>			

Ev. č. # 01 67 3085

ČSN ISO 2409

**Nátěrové hmoty  
MŘÍŽKOVÁ ZKOUŠKA**

**ISO 2409**  
Druhé vydání  
1992-08-15

MDT 667.613:620.1

Deskriptory: paints' varnishes, tests, cross cut test

**Předmluva**

ISO (Mezinárodní organizace pro normalizaci) je celosvětovou federací národních normalizačních organizací (členů ISO). Na mezinárodních normách obvykle pracují technické komise ISO. Každý člen ISO, který se zajímá o předmět, pro který byla vytvořena technická komise, má právo být zastoupen v této technické komisi. Práce se zúčastňují i mezinárodní organizace, vládní i nevládní, s nimiž ISO navázala pracovní styk. ISO úzce spolupracuje s Mezinárodní elektrotechnickou komisí (IEC) ve všech záležitostech normalizace v elektrotechnice.

Návrhy mezinárodních norem přijaté technickými komisemi se rozesílají členům ISO k hlasování. Vydání mezinárodní normy vyžaduje souhlas alespoň 75 % z hlasujících členů.

Mezinárodní norma ISO 2409 byla připravena technickou komisí ISO/TC 35 *Nátěrové hmoty*, subkomisí SC 9 *Zkušební metody pro nátěrové hmoty*. Druhé vydání ruší a nahrazuje první vydání (ISO 2409:1972), které bylo revidováno. Hlavní změny ve druhém vydání zdokonalují pracovní postup, jmenovitě provádění řezu v závislosti na tloušťce nátěru a druhu podkladu a u tvrdých podkladových materiálů používání samolepicí pásky k vyhodnocení. Nedílnou součástí této mezinárodní normy je příloha A.

**1 Předmět normy**

1.1 Tato mezinárodní norma je jednou ze skupiny norem pro vzorkování a zkoušení nátěrových hmot a podobných výrobků. Specifikuje zkušební metodu pro určení odolnosti nátěru k oddělení od podkladu (dále jen přilnavost mřížkou), když nátěr je proříznut mřížkou k podkladu. Vlastnost změřená touto empirickou metodou závisí mimo jiné i na přilnavosti nátěru k podkladovému nátěru nebo podkladu. Avšak tento postup nemůžeme považovat za měření přilnavosti.

Jestliže je doporučeno měření přilnavosti, používá se obvykle metoda popsaná v ISO 4624 *Nátěrové hmoty*. Odrhávací metoda.

POZNÁMKA 1 — Ačkoliv se tato metoda používá především v laboratoři, je také vhodná pro stanovení v provozních podmínkách.

1.2 Popsaná metoda může být použita buď pro výrok nátěr vyhovuje/nevyhovuje nebo se za příslušných podmínek aplikuje jako šestistupňová klasifikační zkouška (viz 8.3). U vícevrstvého nátěrového systému se může pomocí vhodného přípravku odlišit přilnavost jednotlivých vrstev.

1.3 Zkoušku je možné provést na hotových výrobcích nebo na speciálně připravených vzorcích. Podle druhu podkladu, kdy se zkouší na tvrdém (ocel) nebo měkkém podkladu (dřevo, plasty), jsou stanoveny rozdílné podmínky zkoušky (viz 7). Metoda není vhodná pro nátěry s tloušťkou nad 250 µm a pro nátěry s texturou.

**POZNÁMKY**

2 Nátěry s tloušťkou nad 250 µm ohou být zkoušeny také jednoduchým řezným nástrojem.

3 Použije-li se tato metoda pro nátěry s nerovným povrchem, dává výsledky s příliš velkým rozptylem.

**2 Odkazy**

ISO 1512 *Nátěrové hmoty. Vzorkování*

ISO 1513 *Nátěrové hmoty. Popis vnějších znaků a úprava vzorků před zkoušením*

ISO 1514 *Nátěrové hmoty. Standardní podklady pro zkoušení*

ISO 1524 *Nátěrové hmoty. Stanovení jemnosti tření grindometrem*

ISO 2808 Náterové hmoty. Měření tloušťky nátěru

ISO 3270 Náterové hmoty a jejich suroviny. Teploty a vlhkosti pro kondicionování a zkoušení

ISO 4624 Náterové hmoty. Stanovení přilnavosti odtrhovou zkouškou

IEC 454-2 Specifikace pro samolepicí izolační pásy pro elektrotechnické účely. Část 2 Zkušební metody

### 3 Požadovaná doplňková informace

Zkušební metoda stanovená touto mezinárodní normou vyžaduje v jednotlivých aplikacích ještě doplňkovou informaci. Její obvyklé položky jsou uvedeny v příloze A.

### 4 Zařízení

Řádné laboratorní zařízení a sklo spolu s následujícím.

#### 4.1 Řezný nástroj

Je obzvláště důležité, aby řezná část nástroje měla definované ostří a aby ostří bylo v dobrém stavu (viz obr. 1).

4.1.1 Vhodné nástroje jsou popsány níže a ukázány na obr. 1a) a 1b).

a) jednoduchý řezný nástroj s úhlem ostří od 20° do 30° a dalšími rozměry podle obr. 1a).

Jednoduchý řezný nástroj se používá přednostně při všech druzích nátěrů a všech typech podkladů (měkké i tvrdé).

b) Řezný nástroj se šesti ostřími vzdálenými od sebe 1 nebo 2 mm.

Nástroj s více ostřími není vhodný pro tvrdé nátěry, nátěry s tloušťkou nad 120 µm a povlaky nanesené na měkkých podkladech.

4.1.2 Nástroje specifikované v bodě 4.1.1 jsou vhodné pro ruční použití, což je také obvyklý způsob provedení zkoušky; mohou však být připevněny k mechanickému zařízení, které zajistí jednotnost řezů. Použití tohoto způsobu je dáno dohodou mezi zúčastněnými stranami.

#### 4.2 Vodicí šablona

Aby při použití jednoduchého řezného nástroje byly správné mezery mezi jednotlivými řezy, je nezbytné řezat podle vodicí šablony. Vhodné zařízení je uvedeno na obr. 2.

#### 4.3 Měkký štětec

4.4 Průhledná samolepicí páska šířky 25 mm, jejíž přilnavost podle IEC 454-2 je  $(10 \pm 1)$  N na 25 mm šířky.

4.5 Lupa s dvoj- až trojnásobným zvětšením.

### 5 Vzorkování

Reprezentativní zkušební vzorek se vzorkuje podle ISO 1512.

Zkoušení a příprava vzorků ke zkoušení je popsána v ISO 1513.

### 6 Zkušební vzorky

#### 6.1 Podkladový materiál

Pokud není stanoveno jinak, vybere se zkušební podklad podle ISO 1514.

Podklad musí být plochý, prostý nerovností a má mít tloušťku nejméně 0,25 mm. Jestliže je podklad z relativně měkkého materiálu jako např. ze dřeva, musí mít tloušťku nejméně 10 mm.

Zkoušený vzorek musí mít takové rozměry, aby se na něm daly zhotovit tři mřížkové řezy a to ve vzdálenosti nejméně 5 mm od hran a navzájem jeden od druhého.



ČSN ISO 2409

**POZNÁMKY**

4 Vyhovují obdélníkové vzorky o rozměrech 150 mm x 100 mm.

5 Směr a struktura dřeva má vliv na výsledek zkoušky. Výrazná struktura dřeva může znemožnit vyhodnocení přilnavosti mřížkou.

**6.2 Příprava zkušebních nátěrů**

Pokud není stanoveno jinak, připraví se podklad v souladu s ISO 1514 a nanese se na něj nátěr metodou stanovenou pro daný výrobek nebo zkoušený nátěrový systém.

**6.3 Zasychání**

Nátěr zasychá (nebo se vypaluje a stárne) po stanovenou dobu a za stanovených podmínek.

**6.4 Tloušťka nátěru**

Změří se tloušťka suchého nátěrového filmu v  $\mu\text{m}$  jednou z metod uvedených v ISO 2808.

**7 Postup zkoušky**

**7.1 Obecně**

7.1.1 Není-li stanoveno jinak, zkouší se při teplotě  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$  a relativní vlhkosti vzduchu  $(50 \pm 5)\%$  (viz ISO 3270).

POZNÁMKA 6 -- Zkoušky v terénu se provádějí za okolních podmínek.

Zkouška se provede nejméně na třech různých místech vzorku (viz 6.1) na daném podkladu podle 8.1.

7.1.2 Není-li stanoveno jinak, kondicionuje se zkušební vzorek před zkouškou nejméně 16 h při teplotě  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$  a relativní vlhkosti  $(50 \pm 5)\%$ .

**7.1.3 Počet řezů**

Počet řezů v každém směru mřížky je šest.

**7.1.4 Vzdálenost mezi řezy**

Rozestupy mezi jednotlivými řezy mřížky musí být stejné a závisí na tloušťce nátěru a druhu podkladu takto:

- 0  $\mu\text{m}$  — 60  $\mu\text{m}$ : 1 mm rozestup, pro tvrdé podklady;
- 0  $\mu\text{m}$  — 60  $\mu\text{m}$ : 2 mm rozestup, pro měkké podklady;
- 61  $\mu\text{m}$  — 120  $\mu\text{m}$ : 2 mm rozestup, pro tvrdé i měkké podklady;
- 121  $\mu\text{m}$  — 250  $\mu\text{m}$ : 3 mm rozestup, pro tvrdé i měkké podklady.

**7.2 Ruční zhotovení mřížkového řezu**

7.2.1 Zkoušený vzorek se umístí na rovnou a neohebnou podložku, čímž se zabrání deformacím podkladu během zkoušky.

**7.2.2 Podmínky zkoušky**

Během zkoušky se často kontroluje ostří řezného nástroje. Ostří se brousí nebo vymění za nové, aby splňovalo předepsané podmínky. Jestliže je podklad ze dřeva nebo z podobného materiálu, provádějí se řezy pod úhlem  $45^\circ$  ke směru let dřeva.

7.2.3 Řezný nástroj (4.1) se položí kolmo na zkoušený nátěr. Stálým tlakem za použití vodící šablony (4.2) se zhotoví předepsaný počet řezů do nátěru. Všechny řezy musí mít stejné rozestupy a musí proniknout až k podkladu. Jestliže vzhledem k tvrdosti nátěru není možné proniknout řezným nástrojem až k povrchu podkladu, je řez pokládán za neplatný a je to zaznamenáno v zápise o zkoušce.

7.2.4 Postup podle 7.2.3 se opakuje při pootočení původních řezů o  $90^\circ$  tak, aby se vytvořila mřížka.

7.2.5 Měkkým štětcem (4.3) se několikrát lehce přejede podél obou úhlopříček mřížky.

7.2.6 Při zkouškách na tvrdých podkladech se dodatečně použije samolepicí pásy. Když začíná nová série zkoušek, odstraní se první dvě vrstvy z cívky samolepicí pásy (3.4) a odloží se. Pak se odvine a odřízne kousek pásy o délce přibližně 75 mm.

Páska se umístí do středu mřížky rovnoběžně s jedním svazkem řezů (viz obr. 3) a uhladí se prstem tak, aby mřížku překrývala nejméně o 20 mm.

Aby se zajistil dobrý kontakt s nátěrem, přejede se páska konečky prstů. Barva nátěru prosvítajícího páskou je dostatečnou indikací kontaktu po celé délce pásy.

Samolepicí páska se uchopí za volný konec a stáhne se za 0,5 až 1,0 s pod úhlem přibližně 60° (viz obr. 3).

7.2.7 Páska se uchová pro případnou další potřebu např. přilepením na arch průhledné fólie.

7.3 Zhotovení mřížkového řezu přístrojem

Při zhotovení mřížkových řezů přístrojem se zachovávají všechny podmínky, které jsou uvedeny v 7.2, zvláště počet a rozestupy řezů a počet zkoušek.

## 8 Vyjádření výsledků

8.1 Obecně

Hodnocení se provede u měkkých podkladů ihned po oprášení štětcem a u tvrdých podkladů bezprostředně po stažení samolepicí pásy.

8.2 Mřížkový řez se v dobrém světle pečlivě vizuálně zhodnotí. Je-li to odsouhlaseno zainteresovanými stranami, použije se lupy (4.5).

8.3 Mřížkový řez se kvalifikuje podle tab. 1 porovnáním s popisem a vyobrazením, které tabulku doprovází.

POZNÁMKA 7 — Pro další poučení viz tabulku 1.

V tabulce 1 se zavádí šestistupňová klasifikace. Prvé tři stupně se používají při rozhodování vyhovuje—nevyhovuje, šestistupňové třídění se používá v případě nutnosti za zvláštních okolností.

8.4 Ve vícevrstvěném nátěrovém systému se zaznamená mezivrstva, u které došlo k odlupu.

8.5 Liší-li se výsledky zkoušek, zaznamenají se všechny. Při vícevrstvěném nátěrovém systému se zaznamená, kde došlo k separaci (buď mezi vrstvami nebo mezi vrstvou a podkladem).






## 9 Protokol o zkoušce

Protokol o zkoušce musí obsahovat nejméně tyto údaje:

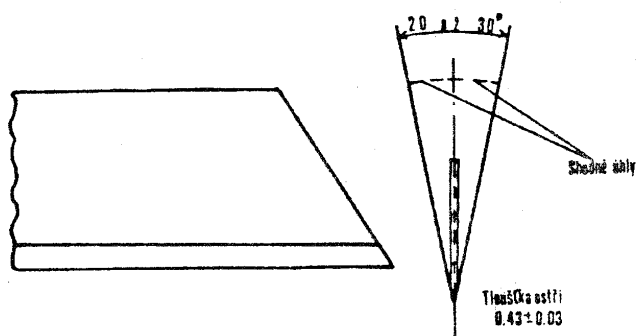
- a) popis zkoušeného výrobku,
- b) odkaz na tuto normu,
- c) odkaz na základní informaci podle přílohy A,
- d) odkaz na mezinárodní nebo národní předmětovou normu výrobku nebo na jiný dokument vztahující se k informaci v odst. c),
- e) výsledky zkoušky podle kapitoly 8,
- f) odchylky od stanovené zkušební metody,
- g) datum zkoušky.

ČSN ISO 2409

**Tab. 1 Klasifikace zkušebních výsledků**

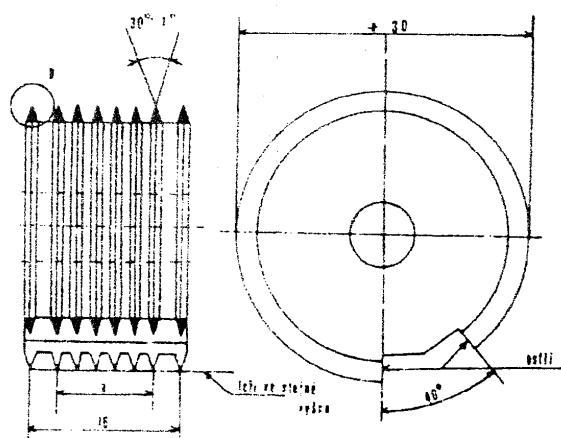
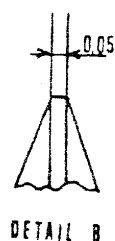
Klasifikace	Popis	Vzhled
0	Řezy jsou zcela hladké, žádný čtverec není poškozen	
1	Nepatrné poškození v místech, kde se řezy kříží. Poškozená plocha nesmí přesahovat 5 %.	
2	Nátěr je nepatrně poškozen podél řezů a při jejich křížení. Povrch mřížky smí být poškozen o více než 5 % a méně než 15 % celkové plochy.	
3	Nátěr je částečně poškozen v rozích řezů, podél řezných hran částečně nebo celý, na různých místech mřížky. Poškození mřížky je větší než 15 %, ale menší než 35 %.	
4	Na nátěru jsou velké změny v rozích řezů a některé čtverečky jsou částečně nebo zcela poškozeny. Plocha mřížky je poškozena z více jak 35 %, ale méně než z 65 %.	
5	Změny, které jsou větší než u stupně 4.	

a) ostří jednoduchého řezného nástroje



b) řezný nástroj s více hranami

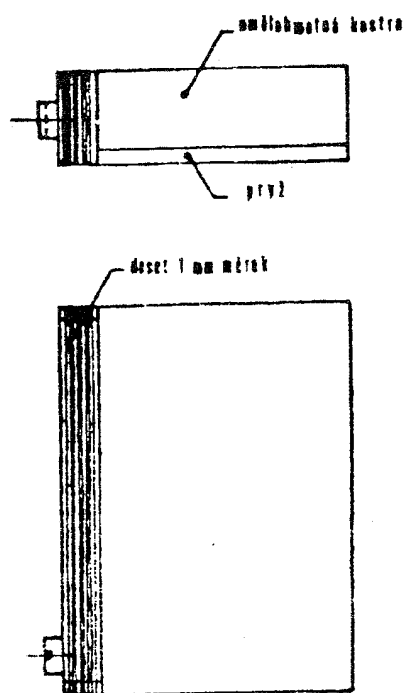
(Dosáhne-li 0,1 mm, musí se přibrousit)



Mezery mezi řeznými ostřími	a
1	5
2	10

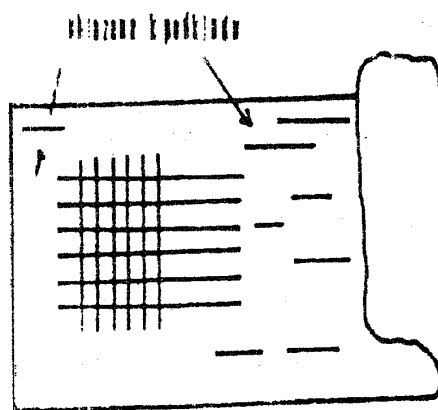
Obrázek 1 — Vhodné řezné nástroje

ČSN ISO 2409

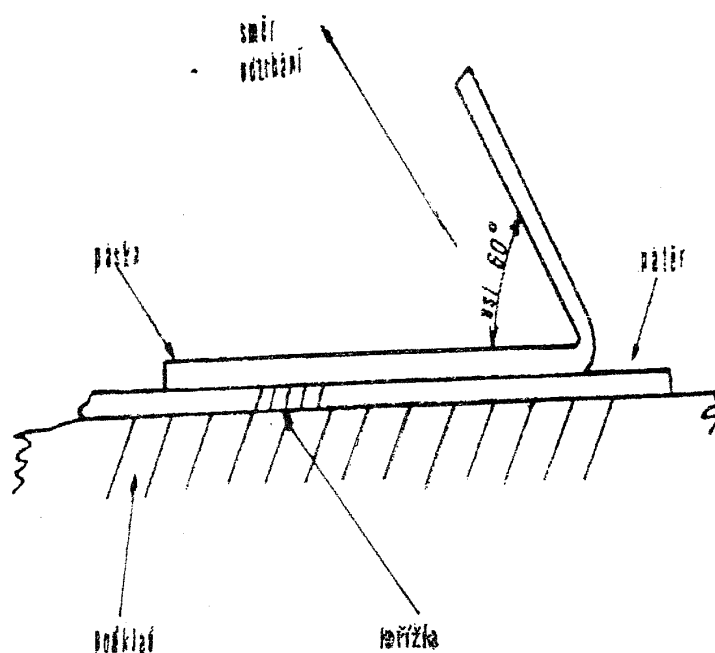


Obrázek 2 — Vodící šablona





a) umístění lepicí pásky na mřížku



b) poloha pásky při odtrhávání

Obrázek 3

ČSN ISO 2409

**Příloha A (normativní)**

**Požadovaná doplňková informace**

Aby se umožnilo provedení zkoušky, je třeba doplnit údaje podle níže uvedené předlohy.

Požadovaná informace má být přednostně odsouhlasena oběma zainteresovanými stranami a může být odvozena zčásti nebo zcela z mezinárodní nebo národní normy nebo z jiného dokumentu vztahujícího se ke zkoušenému výrobku.

- a) Podkladový materiál (včetně tloušťky) a jeho povrchová úprava.
- b) Metoda nanášení zkušebního nátěru na podklad včetně doby a podmínek zasychání mezi nanášením jednotlivých vrstev při vícevrstevním nátěrovém systému.
- c) Doba a podmínky zasychání (nebo vypalování) nátěru a podmínky stárnutí před zkoušením, pokud přicházejí v úvahu.
- d) Doba kondicionování zkoušených vzorků před začátkem zkoušky (pokud už se na stejném zkušebním vzorku souběžně provádějí jiné zkoušky).
- e) Tloušťka ( $\mu\text{m}$ ) zaschlého nátěru a metoda jejího měření podle ISO 2808 a údaj, zda se jedná o jednovrstvý nátěr nebo o vícevrstvý nátěrový systém.
- f) Teplota a vlhkost vzduchu při zkouškách, pokud se liší od hodnot specifikovaných v 7.1.1 (viz ISO 3270).
- g) Postup, podle něhož se má zkouška vyhodnotit (buď vyhovuje—nevyhovuje nebo klasifikační zkouška).
- h) Druh použitého řezného nástroje a způsob provedení zkoušky (ruční nebo mechanizované).
- i) Požadované vlastnosti materiálu vyjádřené v klasifikačních stupních podle tabulky 1.

MDT 667.613:620.1

ČESKÁ NORMA

Listopad 1995

ČSN ISO 2409/ZMĚNA 1 (67 3085)



**Nátěrové hmoty**

**MŘÍŽKOVÁ ZKOUŠKA**

**ČSN  
ISO 2409  
ZMĚNA 1**

**67 3085**

Paints and varnishes. Cross-cut test  
Peintures et vernis. Essai de quadrillage  
Lacke und Anstrichstoffe. Gitterschnittprüfung

**ČSN ISO 2409 Nátěrové hmoty. Mřížková zkouška z března 1993 se mění takto:**

1) *Doplňuje se označení shodnosti s evropskou normou*  
„idt EN ISO 2409:1994“

2) *Údaj o zavedení se doplňuje takto:*

„Norma ISO 2409:1992 byla schválena CEN jako evropská norma EN ISO 2409:1994 bez jakýchkoliv změn a úprav. Vzhledem k identitě obou uvedených norem je EN ISO 2409:1994 převzata do soustavy českých norem pod označením ČSN ISO 2409.“

© Český normalizační institut, 1995

18530